

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2006 年 1 月 5 日 (05.01.2006)

PCT

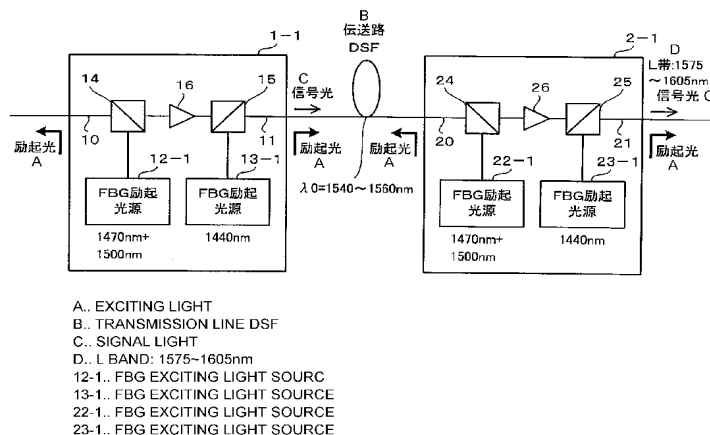
(10) 国際公開番号
WO 2006/001229 A1

- (51) 国際特許分類⁷: G02F 1/35, H01S 3/30, H04B 10/02, 10/16, 10/17, 10/18
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2005/011135
- (22) 国際出願日: 2005 年 6 月 17 日 (17.06.2005)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2004-184601 2004 年 6 月 23 日 (23.06.2004) JP
特願2004-292377 2004 年 10 月 5 日 (05.10.2004) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 増田 浩次 (MA-SUDA, Hiroji) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町 3 丁目 9-1 1 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 佐藤 憲史 (SATO, Kenji) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町 3 丁目 9-1 1 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 宮本 裕 (MIYAMOTO, Yutaka) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町 3 丁目 9-1 1 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 志賀 正武, 外 (SHIGA, Masatake et al.); 〒1048453 東京都中央区八重洲 2 丁目 3 番 1 号 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR,

[続葉有]

(54) Title: LINEAR REPEATER AND OPTICAL FIBER COMMUNICATION SYSTEM

(54) 発明の名称: 線形中継器および光ファイバ通信システム



(57) Abstract: A linear repeater and an optical fiber communication system that use a forward exciting DRA capable of using an exciting light source such as an FBG exciting light source and a fiber laser used most frequently. The optical fiber communication system comprises a silica fiber as a gain medium for Raman amplification for amplifying a signal light, an exciting light source for feeding an exciting light propagating through the silica fiber in the same direction of and along with the above signal light, and a multiplier for the signal light and the exciting light installed between the silica fiber and the exciting light source, wherein the multiplier is provided with a means to which a signal light having a wavelength on the longer wavelength side of the zero dispersion wavelength of the silica fiber and which multiplexes this signal light with an exciting light output from the exciting light source, and the exciting light source is provided with a means of outputting an exciting light having the longest wavelength being on the shorter wavelength side of the wavelength of the signal light, that is, being on the lower frequency side by the frequency difference of 13.7THz-30THz.

(57) 要約: 最もよく用いられる、FBG励起光源およびファイバレーザなどの励起光源を用いることのできる前方励起DRAを用いた線形中継器および光ファイバ通信システムを実現する。信号光を増幅するラマン増幅の利得媒質としてのシリカファイバと、前記信号光と同一方向に前記シリカファイバ中を共伝播する励起光を送出する励起光源と、前記シリカファイバと前記励起光源とを接続するファイバを備える。

[続葉有]

WO 2006/001229 A1



HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU,

IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

起光源との間に設置された前記信号光と前記励起光との合波器とを有する光ファイバ通信システムであって、前記合波器には、前記シリカファイバのゼロ分散波長より長波長側の波長を有する信号光が入射され、この信号光と前記励起光源から出射された励起光とを合波する手段を備え、前記励起光源は、前記励起光の最長波長が、前記信号光の波長より、周波数差にして13.7THz～30THz低周波数側であるところの短波長側にある励起光を出射する手段を備える。

明 細 書

線形中継器および光ファイバ通信システム

技術分野

- [0001] 本発明は、光信号を、伝送路であるところの市中に敷設した光ファイバ中で光増幅する分布ラマン増幅システム、および、線型中継器または端局装置から離れて設置した無給電の遠隔励起モジュールで光増幅する光ファイバ通信システムに関する。

本願は、2004年6月23日に出願された特願2004-184601号および2004年10月5日に出願された特願2004-292377号に対して優先権を主張するものであって、その内容をここに援用する。

背景技術

- [0002] 波長多重の光ファイバ通信システムで用いられる、従来技術の分布ラマン増幅システム(DRAシステム)の構成例を図21および図22に示す(例えば、非特許文献1または2参照)。図21が後方励起DRAの場合であり、図22が双方向励起DRAの場合である。本DRAシステムでは、伝送路として分散シフトファイバ(DSF)を用いており、DSFのゼロ分散波長(λ_0)の典型値は1540nm~1560nm(規定値はこれより若干広い波長範囲を有する)である。
- [0003] 波長多重(WDM)信号光の波長として、図21の後方励起DRAの場合には、いわゆるL帯1575~1605nm(典型値)、後方向励起の励起光波長として1470nmおよび1500nmを用いている。また、図22の双方向励起DRAの場合には、信号光波長として、いわゆるC帯1530~1560nm(典型値)、前方向および後方向励起の励起光波長として1420nmおよび1450nmを用いている。
- [0004] 励起光は、線形中継器1-3、2-3、1-4、2-4から、信号光と反対方向に、合波器14、24を用いて伝送路中に導入されている。励起光源は、最もよく用いられている、ファイバブラッググレーティング(FBG)を外部鏡として有するレーザダイオード光源(ファイバブラッググレーティング付きレーザダイオード型、FBG励起光源)である。
- [0005] また、各線形中継器1-3、2-3、1-4、2-4はエルビウム添加ファイバ増幅器(EDFA)16、26を有する。DSFの上流側の線形中継器1-3、1-4を出て、DSFを

伝播する信号光は、DSFの下流側の線形中継器2-3、2-4近くで分布ラマン増幅を受けて、伝送路中で分布的に増幅された後、EDFA16、26で集中定数的に増幅される。

[0006] 図21の場合には、後方励起DRAを用いてSNRの向上を図っている。一方、図22の場合には、さらなるSNRの向上を狙って、前方励起DRAとしてFBG励起光源13-3、23-3、合波器15、25を追加した双方向励起DRAを用いている。ただし、従来技術において、前方励起DRAを適用する場合には、信号光波長帯は、C帯1530～1560nmに限られていた(本発明では、以下に示すように、L帯1575～1605nmにおいて、前方励起DRAによる信号光増幅を可能とする)。

[0007] 図21の構成において、更なるSNR向上を狙い、前方分布ラマン増幅を行う場合には、後方分布ラマン増幅の場合と同じく、信号光波長の約100nm短波長側の励起光を用いて増幅を行う。その励起光波長は、例えば1470nmおよび1500nm(図21の後方分布ラマン増幅の場合と同じ)である。このときのラマン利得スペクトルを図23に示す。図23は横軸に波長(nm)をとり、縦軸に利得(dB)をとる。図23によれば、L帯1575～1605nmにおいて、平坦な利得スペクトルが得られている。

[0008] 非特許文献1:H. Masuda et al., Electron. Lett., Vol. 35, pp. 411-412,1999

非特許文献2:N. Takachio et al., OFC, PD9, pp. 1-3, 2000

非特許文献3:M. D. Mermelstein et al., Electron. Lett., Vol. 38, pp. 403-405, 2002

非特許文献4:K. Inoue, JLT. Vol. 10, pp. 1553-1561,1992

非特許文献5:R. P. Espindola et al., Electron. Lett., Vol. 38, pp. 113-115,2002

非特許文献6:Y. Ohki et al., OAA, PD7, pp. 1-3, 2002

非特許文献7:R. H. Stolen, Proc. IEEE, Vol. 68, pp. 1232-1236, 1980

非特許文献8:H. Masuda et al., Electron. Lett., Vol. 33, No. 12, pp. 1070-1072,1997

非特許文献9:H. Masuda et al., Electron. Lett., Vol. 39, No. 23, pp. 1-2, 2003

非特許文献10:H. Masuda et al., IEEE Photonics Technol. Lett., Vol. 5, No. 9, pp. 1017-1019, 1993

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0009] 図21の従来技術のDRAシステムに、図22のように、前方励起DRAを追加して用いた場合の信号光のSNRスペクトルを図24に示す。図24は横軸に波長(nm)をとり、縦軸にSNR(dB)をとる。ただし、上記のように、信号光波長はL帯1575～1605nm、励起光波長は1470nmおよび1500nmである。
- [0010] 図24より、信号光波長1589nm近傍において、顕著なSNR劣化が生じていることがわかる。また、伝送特性評価としてビット誤り率(BER)測定を行ったが、SNRが約25dB以下の波長域において、BER劣化が生じていることがわかった。これは、この波長域の信号光波長(～1589nm)と、励起光波長(1500nm)が、ゼロ分散波長(1545nmであった)に対し、対称的な位置にあり、励起光の相対強度雑音(RIN)が、信号光に誘導ラマン散乱を介して乗り移ること(RIN移行)、および、広い発振スペクトルを有する励起光と、信号光との間で、非縮退4光波混合(ND-FWM)が生じるため(非特許文献3または4参照)である。
- [0011] 上記波長配置では、信号光と励起光の群速度がほぼ同じになり、上記2つの現象(RIN移行およびND-FWM)による信号光品質劣化が顕著になる。ただし、FBG励起光源、ファイバレーザなどのRINが大きい励起光源に関してRIN移行が顕著になる。
- [0012] そこで、励起光源に工夫を加えた、特殊な低いRINの励起光源(多モードDFB(分布帰還型)LD(レーザダイオード)およびiGM(inner grating multimode)LD)を作製し、図22のDRAシステム(ただし、前方励起DRAを用いた場合)に用いて、RIN移行を抑圧することが報告されている(非特許文献5または6参照)。しかしながら、それら特殊な励起光源は、高価であり、また、SBS(誘導ブリルアン散乱)閾値が低いという難点がある。さらに、ND-FWMが抑圧できないという欠点があった。一方、FBG励起光源およびファイバレーザは、SBS閾値が高い。
- [0013] 本発明は、このような背景に行われたものであって、最もよく用いられる、FBG励起光源およびファイバレーザなどの励起光源を用いることのできる前方励起DRAを用いた線形中継器および光ファイバ通信システムを実現することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0014] 本発明は、信号光を増幅するラマン増幅の利得媒質としてのシリカファイバと、前記信号光と同一方向に前記シリカファイバ中を共伝播する励起光を送出する励起光源と、前記シリカファイバと前記励起光源との間に設置された前記信号光と前記励起光との合波器とを有する光ファイバ通信システムである。
- [0015] ここで、本発明では、前記合波器には、前記シリカファイバのゼロ分散波長より長波長側の波長を有する信号光が入射され、この信号光と前記励起光源から出射された励起光とを合波する手段を備え、前記励起光源は、前記励起光の最長波長が、前記信号光の最短波長より、周波数差にして13.7～30THz低周波数側であるところの短波長側にある励起光を出射する手段を備えている。
- これによれば、従来技術で問題であったRIN移行およびND-FWMによる信号光品質劣化が生じるという欠点を解決できる。
- [0016] また、前記シリカファイバは、分散シフトファイバであり、前記信号光はL帯に複数波長を有することができる。
- [0017] これによれば、伝送路がDSFの場合において、従来技術で問題であったSNR劣化を抑圧できる。
- [0018] あるいは、前記シリカファイバは、ノンゼロ分散シフトファイバであり、前記信号光はC帯に複数波長を有することができる。
- [0019] これによれば、伝送路がノンゼロ分散シフトファイバの場合において、従来技術で問題であった、RIN移行およびND-FWMによるSNR劣化を抑圧できる。
- [0020] あるいは、前記シリカファイバの信号光出力段に、遠隔励起ダブルパス型EDFモジュールが設けられ、前記励起光は、その波長が1430nm以上であり1470nm以下であることができる。
- [0021] これによれば、励起光波長依存性は小さく、実質的に1430nmの励起光波長でも、遠隔励起ダブルパス型EDFモジュールを動作させることができる。
- [0022] あるいは、前記シリカファイバの信号光出力段に、遠隔励起シングルパス型EDFモジュールが設けられ、前記励起光は、その波長が1440nm以上であり1470nm以下であることができる。
- [0023] このように、遠隔励起シングルパス型EDFモジュールでは、励起効率がダブルパス

型EDFモジュールより劣るため、使用可能な励起光波長は、ダブルパス型EDFモジュールより長波長(1440nm以上など)となる。

[0024] また、前記励起光源は、ファイバブラッググレーティング付きレーザダイオード型もしくはファイバレーザ型であることができる。

[0025] また、信号光波長の最小値を λ_s 、前記シリカファイバのゼロ分散波長の最小値を λ_0 、また、前記励起光源の励起光波長の最大値を λ_p としたとき、

$$2\lambda_0 - \lambda_s > \lambda_p$$

が成り立つように信号光波長、ゼロ分散波長、および励起光波長を設定することができる。ここで、前記励起光源が複数波長のファイバブラッググレーティング付きレーザダイオード型またはファブリーペローレーザダイオード型である場合、 $2\lambda_0 - \lambda_s > \lambda_p + 10$ が成り立つように前記信号光波長、前記ゼロ分散波長、および前記励起光波長を設定しても良い。

また、前記励起光源が、ファイバラマンレーザ型、または、単一波長のファイバブラッググレーティング付きレーザダイオード型、または、複数波長のファイバブラッググレーティング付きレーザダイオード型、または、ファブリーペローレーザダイオード型である場合、 $2\lambda_0 - \lambda_s > \lambda_p + 15$ が成り立つように前記信号光波長、前記ゼロ分散波長、および前記励起光波長を設定しても良い。

[0026] これにより、雑音が最大となる最悪条件が $2\lambda_0 - \lambda_s = \lambda_p$ である場合に、これを回避することができる。

[0027] このときに、前記複数波長の幅が10nm以下であることが望ましい。

[0028] さらに、前記励起光源は、偏波多重するファブリーペローレーザダイオードの各々の出力側に、各ファブリーペローレーザダイオードからの励起光出力を調整する可変減衰器を備えることができる。

[0029] これにより、温度変化あるいは製造バラツキによる各レーザダイオードの励起光波長(平均波長)の差異を補償することができる。

[0030] また、前記光ファイバ通信システムはエルビウム添加ファイバ増幅器を有し、前記エルビウム添加ファイバ増幅器は、利得媒質としてのエルビウム添加ファイバを備えたエルビウム添加ファイバ利得ブロックと、前記エルビウム添加ファイバ利得ブロックの

前段または後段に設置された利得等化光フィルタと、前記エルビウム添加ファイバの反転分布量を検出する反転分布検出回路と、前記反転分布検出回路により検出される前記反転分布量が所期の値になるように前記エルビウム添加ファイバ利得ブロックを制御する反転分布調整回路とを有していてもよい。

これにより、前方励起DRAを適用しない場合に使用されるエルビウム添加ファイバ増幅器を用いながら、前方励起DRAの適用によって新たに付加されるラマン利得のスペクトルを、エルビウム添加ファイバ利得ブロック内のエルビウム添加ファイバの利得減少分で補償することができる。

なお、前記エルビウム添加ファイバの上位準位占有比率 N_2 は38%未満とすることが望ましい。

- [0031] また、前記ラマン増幅によるラマン利得が大きい短波長側ほど、前記シリカファイバへ入力される前記信号光の信号光パワーが低くなるように、該信号光パワーのスペクトルを設定しても良い。

これにより、シリカファイバ中で非線形効果が生じるような場合にもネット利得スペクトルを平坦にすることができる。

- [0032] また、前記シリカファイバは市中に敷設されたシリカファイバであっても良い。あるいは、前記シリカファイバは集中光増幅用のシリカファイバであっても良い。

- [0033] また、前記信号光の波長が単一波長であり、前記信号光の波長と前記励起光の最長波長との差が周波数差にして15.6THz以上であっても良い。

信号光の波長が単一波長の場合、信号光が占有する波長域は多波長のWDMシステムの場合に比べて一般にきわめて狭いので、利得スペクトルの平坦性を確保しなくとも、RIN移行およびND-FWMによる信号光品質劣化が生じるという欠点を解決できる。

- [0034] なお、本発明の線形中継器を送信端局装置(送信器)に置き替えても同様に説明することができる。

発明の効果

- [0035] 本発明によれば、従来技術で問題であったRIN移行およびND-FWMによる信号光品質劣化が生じるという欠点を解決できる。

図面の簡単な説明

- [0036] [図1]第一実施例の光ファイバ通信システムの全体構成図。
- [図2]第一実施例の光ファイバ通信システムにおける利得と波長との関係を示す図。
- [図3]第一実施例の光ファイバ通信システムにおけるSNRと波長との関係を示す図。
- [図4]第一実施例における波長関係(DSFの場合)を示す図。
- [図5]第一実施例の信号光パワーと波長との関係を示す図。
- [図6]第一実施例のEDFAの利得と波長との関係を示す図。
- [図7]第二実施例の光ファイバ通信システムの全体構成図。
- [図8]第二実施例の波長関係(NZ-DSFの場合)を示す図。
- [図9]第三実施例の光ファイバ通信システムの要部構成図。
- [図10]第三実施例の出力信号光パワーと入力励起光パワーとの関係を示す図。
- [図11]第四実施例のSNRスペクトルを示す図。
- [図12]FP-LD励起光源を用いた場合におけるLD駆動電流と励起光SNRおよび信号光SNRとの関係を示す図。
- [図13]第四実施例におけるFP-LD励起光源の構成を示す図。
- [図14]第五実施例における線形中継器内に設置したEDFAの構成を示す図。
- [図15]第五実施例におけるトータルの誘導放出断面積 $S_{\text{emi-tot}}$ および吸収断面積 S_{ab} のスペクトルを示す図。
- [図16]第五実施例におけるEDF利得ブロック53中のEDFの利得スペクトル変化を示す図。
- [図17]第五実施例において、図16から求めた、上位準位占有比率 N_2 が38%の場合を基準とした利得変化量スペクトルを示す図。
- [図18]第五実施例において、前方励起DRAの励起光波長が1440nmの場合のラマン利得スペクトルの例、および、そのラマン利得スペクトルを補償するEDF利得ブロック53内のEDFの利得減少分スペクトルを示す図。
- [図19]第六実施例において、各種励起光源に対する同じラマン利得におけるSNRスペクトルを示す図。
- [図20]第七実施例における光増幅器の構成を示す図。

[図21]従来の後方励起DRA構成を示す図。

[図22]従来の双方向励起DRA構成を示す図。

[図23]従来技術のラマン利得スペクトルを示す図。

[図24]従来技術のSNRスペクトルを示す図。

符号の説明

- [0037] 1-1、1-2、1-3、1-4、2-1、2-2、2-3、2-4 線形中継器
10、11、20、21 シリカファイバ
12-1、12-2、12-3、13-1、13-2、13-3、22-1、22-2、22-3、23-1
、23-2、23-3 FBG励起光源
14、15、24、25 合波器
16、26 EDFA
30 遠隔励起EDFモジュール
40 可変アッテネータ
41 ファブリーペローLD
42 偏波合波器
51、53 EDF利得ブロック
52 利得等化光フィルタ
54 反転分布検出回路
55 反転分布調整回路
70 光増幅器

発明を実施するための最良の形態

- [0038] 以下、図面を用いて本発明の実施例を説明する。なお、本発明は以下に説明する各実施例に限定されるものではなく、例えば、各実施例に開示されている技術思想を適宜組み合わせてもよい。

- [0039] (第一実施例)

図1は第一実施例の光ファイバ通信システムの全体構成図である。

- [0040] 本実施例は、図1に示すように、信号光を増幅するラマン増幅の利得媒質としてのシリカファイバ10、11、20、21と、前記信号光と同一方向にシリカファイバ10、11、2

0、21中を共伝播する励起光を送出するFGB励起光源12-1、13-1、22-1、23-1と、シリカファイバ10、11、20、21とFGB励起光源12-1、13-1、22-1、23-1との間に設置された前記信号光と前記励起光とを合波する合波器14、15、24、25とを有する線形中継器1-1、2-1である。

[0041] ここで、本実施例の特徴とするところは、合波器14、15、24、25には、シリカファイバ10、11、20、21のゼロ分散波長より長波長側の波長を有する信号光が入射され、この信号光とFGB励起光源12-1、13-1、22-1、23-1から出射された励起光とを合波する手段を備え、FGB励起光源12-1、13-1、22-1、23-1は、前記信号光の波長より13.7THz以上短波長側にある励起光を出射する手段を備えたところにある。

[0042] シリカファイバ10、11、20、21は、分散シフトファイバであり、前記信号光はL帯に複数波長を有し、前記励起光は、その波長が1470nm以下である。

[0043] 以下では、第一実施例をさらに詳細に説明する。

[0044] 図1は、第一実施例の光ファイバ通信システムを示している。図21の従来技術の構成とは、以下の点が主に異なる。すなわち、本実施例では、前方分布ラマン増幅(前方DRA)を、1440nmの励起光を用いて行っている。その励起光用の励起光源13-1は上流の線形中継器1-1中に設置している。

[0045] 本実施例に関するラマン利得スペクトルを図2に示す。図2は横軸に波長(nm)をとり、縦軸に利得(dB)をとる。これは、図1の光通信システムにおいて、前方DRAの単一の励起光波長を1500nmから1440nmまで、短波長側に向けて変化させた場合のスペクトルである。また、それら励起波長に対するSNRスペクトルを図3に示す。図3は横軸に波長(nm)をとり、縦軸に利得(dB)をとる。ただし、この単一の励起光波長の場合における励起光パワーは、従来技術における2波長(1470nmおよび1500nm)励起の場合のトータルパワー(300mW)と同じにした。

[0046] 図2より、信号光波長域内に利得スペクトルのピークが生じるのは、単一の励起光波長がおよそ1470nm～1500nmにある場合である。そこで、従来技術では、信号光波長域内で高利得を得るため、概略1470nm以上の励起光と、概略1500nm以下の励起光の少なくとも2波長以上の励起光で前方DRAを行っていた。また、例え

ば2波長の励起光を用いた場合、トータルの利得スペクトルはこれら2波長の利得スペクトルを合成したものとなる。そこで従来技術では、合成された利得スペクトルがほぼ平坦となるように2つの励起光の波長を選んでいた。このように従来技術では、信号光波長域内で高利得および平坦な利得スペクトルを得るために2波長以上の励起光波長の使用を前提としており、単一の励起光波長を用いること、および、利得スペクトルのピークが信号光波長域を外れている励起光波長を用いることは従来考えられていなかった。一方、本実施例では、以下の単一の励起波長を用いる。

[0047] したがって、従来技術では、最短の信号光波長(上記例では1575nm)と、最長の励起光波長(上記例では1500nm)は、一般に、約100nm(周波数差にして約13THz)しか離れていない。信号光波長が1波長の場合には、例えば、信号光波長が1580nmであれば、励起光波長は、1波長で十分であるが、1480nmとされている。これは、波長差100nm、周波数差にして12.8THzである。

[0048] 図3のSNRスペクトルによると、励起光波長が1500nm、1490nm、1480nmの場合に、信号光波長域内でSNRが低くなっている(概略25dB以下)。一方、励起光波長が1470nm、1460nm、1440nmの場合には、信号光波長域内におけるSNR劣化は小さく、約30dB以上の高いSNRが得られている。また、この場合(励起光波長が1470nm、1460nm、1440nmの場合)に、BER特性も良好であった。さらに、この場合に、図2より、信号光波長域内におけるラマン利得は、励起光波長が1470nmの場合に約6dB以上、励起光波長が1440nmの場合に約4dB以上などである。

[0049] すなわち、図23の利得(約8dB)に比べれば小さいが、DRAによるSNR改善を確保するには十分な大きさの利得が得られることがわかった。また、従来技術に比べ、大きな、信号光波長域内における利得偏差が生じているが、これは、信号光レベルの波長に応じた設定を後述のごとく行うことによって問題にならない。

[0050] 上記のように、本実施例では、最短の信号光波長(1575nm)に対し、最長の励起光波長(本実施例では1470nm)は、100nmより大きな値(105nm)(周波数差にして約13.7THz)をもって、短波長側に設定されている。信号光波長が1波長の場合には、例えば、信号光波長が1580nmであれば、励起光波長は、1波長で十分であるが、1460nmとしてよい。これは、波長差120nm、周波数差にして15.6THzであ

る。

すなわち、信号光が1波長の場合には、利得スペクトルの平坦性を確保する必要がなく、信号光が占有する波長域は多波長のWDMシステムの場合に比べて一般にきわめて狭いので、従来技術の手法において、上記15.6THzより小さな周波数差を有する構成が可能であると言える。

[0051] また、前記最長の励起光波長は、前記最短の信号光波長に対し、周波数差にして30THzまでの値をもって、短波長側に設定されていてもよい。このとき、非特許文献7によれば、ラマン利得はDRAによるSNR改善を確保するために必要な大きさを有する。一方、上記以外の場合、すなわち、前記最長の励起光波長が、前記最短の信号光波長に対し、周波数差にして30THzより大きい値をもって、短波長側に設定された場合には、ラマン利得は小さく、DRAによるSNR改善は若干あるものの、上記DRAを行うために必要な励起光源等を設置するコストを鑑みると、システムとしてのメリットがあまり無い。

例えば、前記最短の信号光波長が1575nmのとき、周波数差が13.7～30THzであれば、前記最長の励起光波長は1361～1469nmであればよい。ちなみに、波長，周波数，および光速の関係は、 $\text{波長} = \text{光速} / \text{周波数}$ 、である。

また、伝送路が後述のノンゼロ分散シフトファイバの場合、前記最短の信号光波長が1530nmのとき、周波数差が13.7～30THzであれば、前記最長の励起光波長は1327～1430nmであればよい。

[0052] 図4は、本実施例(伝送路がDSFの場合)に関する波長関係を示している。ゼロ分散波長は1550nm近傍にあり、信号光波長域はL帯1575～1605nmである。また、励起光波長は、従来技術では、1470nmおよび1500nmであり、本実施例では、例えば1440nm(1460nm、1470nmでもよい)である。

[0053] また、図3は、ゼロ分散波長が1545nmの場合であるが、例えば、ゼロ分散波長が1535nmの場合には、1500nm、1490nm、1480nmに加え、1470nmの場合に、信号光波長域内でSNRが低くなる(概略25dB以下)。

[0054] 本実施例では、図23と図2との比較からわかるように、ラマン利得スペクトルが一般に、信号光波長域内で非平坦になっている。特に、励起光波長が、1440nm、1460

nm、1470nmと長波長になるにしたがって、非平坦性が増加する。信号光パワーと波長との関係を図5に示す。図5は横軸に波長(nm)をとり、縦軸に信号光パワー(dBm)をとる。そこで、伝送路DSFに入力する信号光パワーのスペクトルを図5に示すように、上記励起光波長に応じて非平坦にする。

- [0055] 伝送路DSF中での非線形効果を考慮して、ラマン利得が大きい波長ほど、信号光パワーを低くする。EDFAの利得と波長との関係を図6に示す。図6は横軸に波長(nm)をとり、縦軸に利得(dB)をとる。さらに、単位線形中継区間でのネット利得スペクトルを平坦にするため、図6に示すように、EDFAの利得スペクトルを非平坦とする。これは、利得等化フィルタを用いることなく、EDFAの励起レベルを低減し、平均反転分布レベル(非特許文献8参照)を低減することにより、実現できることがわかった。
- [0056] すなわち、図6において、励起光波長が1440nmの場合の平均反転分布レベル(レベルー1)は、従来技術の場合のEDFA利得スペクトルが平坦な場合の平均反転分布レベルより低くし、励起光波長が1460nmの場合の平均反転分布レベル(レベルー2)はレベルー1より低くすればよい。
- [0057] 上記実施例は、市中(陸上または海底)に敷設した伝送路ファイバ中で、信号光を分布的に増幅するDRAシステムに関するものであるが、伝送路ファイバの長さは、40kmおよび80kmなどである。
- [0058] しかしながら、本実施例における信号光の光増幅動作を考慮すると、信号光を線形中継器内でEDFAなどのように集中的に増幅する場合にも適用でき、利得媒質は、一般にDRAの場合より若干短め(10kmおよび20kmなど)のシリカファイバ(DSFなど)である。このことは、後述の第二および第三実施例に関しても同じである。
- [0059] また、励起光源は、ファイバブラッググレーティング(FBG)もしくはファイバレーザを外部鏡として有するレーザダイオード光源(ファイバブラッググレーティング付きレーザダイオード型、FBG励起光源もしくはファイバレーザ型、ファイバレーザ励起光源)である。
- [0060] 以上述べたように、本実施例によれば、伝送路がDSFの場合に、単一の励起光波長を概略1470nm以下に設定することにより、従来技術で問題であったSNR劣化を抑圧できるという効果がある。

[0061] (第二実施例)

図7は、第二実施例の光ファイバ通信システムを示している。図1の第一実施例の線形中継器1-1、2-1の構成と第二実施例の線形中継器1-2、2-2の構成とは、以下の点が主に異なる。すなわち、本実施例では伝送路としてノンゼロ分散シフトファイバ(NZ-DSF、LEAF(登録商標)など)を用いており、ゼロ分散の典型値は約1500nmである。信号光波長はC帯1530~1560nmである。

[0062] 励起光波長は、後方向励起のFBG励起光源12-2、22-2では、従来技術の図22と同じ1420nmおよび1450nmであり、また、前方向励起のFBG励起光源13-2、23-2では1390nmである。

[0063] 本実施例における波長関係を図8に示す。従来技術では、図22に示したように、前方向DRAの励起光波長は、後方向DRAの励起光波長と同じ、1420nmおよび1450nmであるが、本実施例では、上記のように、1390nmである。

[0064] 一般的には、第一実施例の場合と同様に、励起光波長は、最短信号光波長(1530nm)に対して、周波数差にして約13.7THz短波長側に設定される。すなわち、励起光波長は1430nm以下にすればよい。

[0065] したがって、図4の場合と同じように、本実施例によれば、従来技術で問題であった、RIN移行およびND-FWMによるSNR劣化を抑圧できるという効果がある。

[0066] (第三実施例)

図9は、第三実施例の光ファイバ通信システムを示している。図1の第一実施例の構成とは、以下の点が主に異なる。ただし、図9では簡単のため、図1と異なる点のみを示している。本実施例では、前方励起DRAの伝送路DSF(DSF-1)の後段に遠隔励起EDFモジュール30を設置して、遠隔励起増幅を行っている。その遠隔励起EDFモジュール30としては、励起効率の高いダブルパス型を用いている(非特許文献9参照)。

[0067] 図10は、ダブルパス型の遠隔励起EDFモジュール30の励起特性を示している。図10は横軸に入力励起光パワー(mW)をとり、縦軸に出力信号光パワー(dBm)をとる。信号光のトータル出力パワーについて、入力励起光パワー依存性を、励起光波長を変えて(1440、1460、1470、1490nm)測定した。図10および他の検討結

果より、励起光波長依存性は小さく、(遠隔励起EDFモジュール30内に設けられた利得媒質であるEDFを励起するための波長として通常は1450～1480nmが用いられるが、)実質的に1430nmの励起光波長でも、ダブルパス型の遠隔励起EDFモジュール30が動作することがわかった。

[0068] また、ダブルパス型の遠隔励起EDFモジュール30に替えてシングルパス型の遠隔励起EDFモジュールを設置することもできる。この場合には、シングルパス型の遠隔励起EDFモジュールでは、励起効率がダブルパス型の遠隔励起EDFモジュール30より劣るため、使用可能な励起光波長は、ダブルパス型の遠隔励起EDFモジュール30より長波長(1440nm以上など)となる。

[0069] (第四実施例)

第一および第二実施例によれば、従来技術で問題であったND-FWMおよびRIN移行に起因する雑音の大きなFBG励起光源またはファイバレーザ励起光源を用いたシステムにおいて、その雑音を回避できる。ただし、前記ファイバレーザ励起光源の典型例はファイバラマンレーザである。

[0070] ここで、信号光波長の最小値を λ_s 、ゼロ分散波長の最小値を λ_0 、また、励起光波長の最大値を λ_p としたとき、

$$2\lambda_0 - \lambda_s = \lambda_p \quad \dots(1)$$

が上記雑音が最大となる最悪条件である。そこで、本発明では、上記条件が回避されるように、 $\lambda_0 = 1545\text{nm}$ 、 $\lambda_s = 1605\text{nm}$ のとき、 $\lambda_p < 1470\text{nm}$ としている。すなわち、波長の単位をnmとして、

$$2\lambda_0 - \lambda_s > \lambda_p + 15 \quad \dots(2)$$

としている。ただし、上記値は励起光源が単一波長のFBG励起光源である場合の概略値である。

[0071] 励起光源が単一波長のFBG励起光源以外の場合を調べると以下のことがわかった。図11は第四実施例のSNRスペクトルを示す図であり、横軸に波長(nm)をとり縦軸にSNR(dB)をとる。また、図11は各種励起光源に対する同じラマン利得におけるSNRスペクトルを示している。

[0072] 励起光源の種類は、ファイバラマンレーザ、単一波長FBG-LD、2波長FBG-L

D、およびFP-LD(ファブリーペローLD)である。ゼロ分散波長の最小値 λ_0 は1530nmである。ファイバランレーザ、単一波長FBG-LD、2波長FBG-LD、FP-LDの順でSNRが低いことがわかる。

[0073] このとき、各種励起光源の10dB強度低下における発振波長幅 $\Delta\lambda$ は、ファイバランレーザで約0.5nm、単一波長FBG-LDで約2nm、FP-LDで約10nmであった。すなわち、 $\Delta\lambda$ が大きいほどSNRが高い。また、2波長FBG-LDでは、波長数が単一波長FBG-LDの2倍であるから、実効的な $\Delta\lambda$ は2倍である。

[0074] 以上のことから、FP-LD励起光源、多波長のFBG-LD励起光源(略してFBG励起光源とも呼ぶ)を用いることにより、前記雑音が抑圧された高SNRが得られることがわかった。ただし、多波長のFBG励起光源を作製するとき、波長間隔を狭くして、励起光波長の平均波長と最大値 λ_p を顕著に上昇させないようにすることが肝要である。ただし、前記平均波長は励起光波長の実効値であり、最大値 λ_p は、(1)式的最悪条件を決める値である。前記波長間隔は、単一波長FBG-LDの $\Delta\lambda$ が約2nmであることから、約10nm以下であることが望ましい。なお、波長間隔の下限值に関しては特に制約がない(0nmより大きければ良い)ので、システム条件などに応じて適宜決定すれば良い。

[0075] 図12は、FP-LD励起光源を用いた場合におけるLD駆動電流と励起光SNRおよび信号光SNRとの関係を示している。図12は横軸に駆動電流(mA)をとり、縦軸にSNR(dB)をとる。図12に示すように、駆動電流とともに励起光SNRおよび信号光SNRが向上することが初めてわかった。したがって、駆動電流を高い値に保つことに利点がある。

[0076] 図13は、第四実施例におけるFP-LD励起光源の構成を示している。本励起光源では、高SNRを得るため、以下の工夫をしている。偏波多重する各LD41(FP-LD)に対応させてそれぞれ可変アッテネータ40を設置して出力パワーを調整している。

[0077] 各可変アッテネータ40からの励起光は偏波合波器(以下ではPBCという)42で合波された後に出力される。各LD41の励起光波長(平均波長)は、駆動電流および温度とともに上昇し、駆動電流100mAあたりで約3nm、温度10度あたりで約4nm上昇することがわかった。

- [0078] また、LDの製造バラツキがあり、それは概略 $\pm 5\text{nm}$ である。したがって、図13の励起光源によれば、駆動電流および温度の調整により、各LD41の励起光波長を調整でき、かつ各LD41からPBC42に入力する励起光パワーを可変アッテネータ40で同じ値に設定できる。ちなみに、通常のFP-LD励起光源の構成は、図13の構成から前記可変アッテネータ40を取り除いた構成である。
- [0079] 例えば、偏波合成する2つのLD(LD1およびLD2とする)の励起光波長の所望の波長が 1440nm のとき、製造バラツキによって、LD温度 25°C で、LD1の波長が 1444nm 、LD2の波長が 1436nm になっていたとする。このとき、LD1の温度を 15°C 、LD2の温度を 35°C とすることにより、LD1およびLD2の励起光波長をともに、 1440nm (所望値)にすることができる。このとき、一般にLD1およびLD2からの出力が変化するが、前記個別の可変アッテネータ40により、PBC42に入力する励起光パワーを可変アッテネータ40で所望の値に設定できる。
- [0080] (第五実施例)
- 本実施例では、図6を参照して第一実施例で述べた利得スペクトル等化の手法(すなわち、利得等化フィルタを用いずに単位線形中継区間でのネット利得スペクトルを平坦にする手法)について具体的に述べる。
- [0081] 図14は、図1の線形中継器1-1、1-2内にそれぞれ設置したEDFA16、26の構成例を示している。このEDFAは、信号光の入力側に配置された第1のEDF利得ブロックであるEDF利得ブロック51と、信号光の出力側に配置された第2のEDF利得ブロックであるEDF利得ブロック53と、EDF利得ブロック51とEDF利得ブロック53の間に配置された利得等化光フィルタ52と、EDF利得ブロック53に接続され、EDF利得ブロック53中に設置した利得媒質としてのEDF(図示省略)の反転分布量を検出する反転分布検出回路54と、反転分布検出回路54に接続された反転分布調整回路55とを有する。この反転分布調整回路55は、EDF利得ブロック53に対する励起光パワーを変化させるなどして、反転分布検出回路54によって検出される反転分布量が所期の値になるようにEDF利得ブロック53の励起状態を調整する。
- [0082] なお、EDF利得ブロック51は無くてもよく、また、利得等化光フィルタ52はEDF利得ブロック53の後段に設置しても良い。さらに、反転分布検出回路55としては、例えば

、非特許文献10に記載の手段を用いればよい。

- [0083] 次に、本実施例における動作を説明する。EDF利得ブロック53中のEDFのdB単位での利得(G)は、比例定数をA、誘導放出断面積を S_{emi} (=Emission)、上位準位吸収断面積を S_{ESA} (=Excited State Absorption)、吸収断面積を S_{abs} (=Absorption)、トータルの誘導放出断面積を $S_{emi-tot} = S_{emi} + S_{ESA}$ 、また上位準位占有比率を N_2 として、次式で与えられる。

$$G = A (S_{emi-tot} N_2 - S_{abs}) \quad \dots (3)$$

- [0084] 図15は、トータルの誘導放出断面積 $S_{emi-tot}$ および吸収断面積 S_{abs} のスペクトルを示しており、横軸に波長(nm)をとり、縦軸に断面積(規格化値)をとっている。ただし、図15ではこれら断面積のピーク値を100に規格化している。図16は、式(3)を用いて求めたEDF利得ブロック53中のEDFの利得スペクトル変化を示しており、前記反転分布量である上位準位占有比率 N_2 が42%、40%、38%、36%、34%の場合についてそれぞれEDF利得スペクトル変化を示している。なお、図16では横軸に波長(nm)をとり、縦軸に利得(dB)をとっている。図16から分かるように、上位準位占有比率 $N_2 = 38\%$ のときのL帯における平坦利得は約20dBである。そして、図16によれば、上位準位占有比率 N_2 の値に応じて、利得スペクトルが変化する様子を定量的に求めることができる。

- [0085] 図17は、図16から求めた利得変化量スペクトルを示している。具体的には、上位準位占有比率 N_2 が38%の場合(すなわち、信号光波長域においてEDF利得スペクトルがほぼ平坦になる場合)を基準とした利得変化量スペクトルを示しており、横軸に波長(nm)をとり、縦軸に利得変化量(dB)をとっている。利得変化量を ΔG 、上位準位占有比率 N_2 の値に応じた利得を $G(N_2)$ とすると、

$$\Delta G = G(N_2) - G(N_2 = 38\%) \quad \dots (4)$$

の関係がある。図17から分かるように、L帯の信号光波長域に関し、波長が短くなるに従い、利得変化量 ΔG の絶対値が大きくなっている。

- [0086] この利得変化の特徴を用いることで、前方励起DRAを適用しない場合に使用されるEDFAを用いながら、前方励起DRAの適用によって新たに付加されるラマン利得のスペクトルを、EDF利得ブロック53内のEDFの利得減少分で補償することができる。

これにより、利得補償を行うために新たなEDFAを設ける必要がなくなり、経済性を確保することができる。

- [0087] 図18は、前方励起DRAの励起光波長が1440nmの場合のラマン利得スペクトルの例(図中の「ラマン利得付加分」)、および、そのラマン利得スペクトルを補償するEDF利得ブロック53内のEDFの利得減少分スペクトル(図中の「EDFA利得減少分」)を示しており、横軸に波長(nm)をとり、縦軸に利得変化量(dB)をとっている。ただし、EDF利得ブロック53内のEDFの上位準位占有比率 N_2 を $N_2 = 36.5\%$ とした。
- [0088] 信号光波長域1575～1605nmにおける両者の一致具合を見ると、両者は1dB以内で良好に一致していることが分かる。したがって、例えば図1に示した構成において、1つの伝送路と1つの線形中継器からなる区間(以下、単位線形中継区間という)におけるトータル利得のスペクトルに関し、前方励起DRAのラマン利得をEDF利得ブロック53内のEDFの利得によってスペクトル等化することができる。
- [0089] また、前記前方励起DRAのラマン利得とEDF利得ブロック53内のEDFの利得の不一致分は、利得等化光フィルタ52により補償できる。このとき、利得等化光フィルタ52の損失スペクトルのピーク値が小さいため、本実施例におけるEDFAの雑音特性の劣化を抑圧できるというメリットも生じる。すなわち、本実施例の手法を用いることなく、利得等化光フィルタ52のみにより補償するとした場合、利得等化光フィルタ52の損失スペクトルのピーク値が本実施例の手法を用いた場合に比べて大きくなるため、雑音特性が劣化してしまう。これに対して、本実施例のように利得等化光フィルタ52の損失スペクトルのピーク値が小さければ、利得等化光フィルタ52のみで補償する場合に比べて雑音特性の点でメリットがある。
- [0090] なお、上位準位占有比率 N_2 の設定値は、前記ラマン利得の値および式(3)の比例定数Aに依存する。図18に示したように、L帯の短波長域において長波長域より利得が小さいスペクトルを有するEDF利得を得て、L帯の短波長域で長波長域より利得が大きいスペクトルを有するラマン利得を補償するために、上位準位占有比率 N_2 は38%より小さいことが必要である。上位準位占有比率 N_2 の典型値は、 $N_2 = 34 \sim 37\%$ である。
- [0091] (第六実施例)

第四実施例では、伝送路がDSFの場合について本発明における動作パラメータ値を示したものである。本実施例では伝送路がNZ-DSFの場合についての動作パラメータ値を示す。

- [0092] 本実施例では、ゼロ分散波長の典型値は約1500nm、信号光波長はC帯1530～1560nmである。ただし、本実施例および前記第一実施例～第四実施例について、信号光波長は、一般的にそれら実施例における帯域全体に配置された波長多重信号の複数波長ないしチャンネルである。本実施例の場合には、C帯1530～1560nmに例えば100GHz間隔(すなわち約0.8nm間隔)で波長多重信号の波長ないしチャンネルが配置される。ただし、システム運用開始初期などの場合には、上記帯域の一部に信号光の複数波長が配置される。
- [0093] ここで、第四実施例で述べたのと同様に、信号光波長の最小値を λ_s 、ゼロ分散波長の最小値を λ_0 、励起光波長の最大値を λ_p としたとき、 $2\lambda_0 - \lambda_s = \lambda_p$ (上記式(1))が雑音の最大となる最悪条件である。そこで、本実施例では、上記条件が回避されるように、 $\lambda_0 = 1480\text{nm}$ 、 $\lambda_s = 1560\text{nm}$ のとき、 $\lambda_p < 1385\text{nm}$ としている。すなわち、波長の単位をnmとして、 $2\lambda_0 - \lambda_s > \lambda_p + 15$ (上記式(2))としている。ただし、上記値は励起光源が単一波長のFBG励起光源である場合の概略値である。
- [0094] 励起光源が単一波長のFBG励起光源以外の場合を調べると下記のことがわかった。図19は、各種励起光源に対する同じラマン利得におけるSNRスペクトルを示しており、横軸に波長(nm)をとり、縦軸にSNR(dB)をとっている。なお、図19は $\lambda_p = 1385\text{nm}$ の場合について示したものである。励起光源の種類は、ファイバラマンレーザ、単一波長FBG-LD、2波長FBG-LD、およびFP-LD(ファブリーペローLD)である。図19からファイバラマンレーザ、単一波長FBG-LD、2波長FBG-LD、FP-LDの順でSNRが低いことがわかる。
- [0095] SNRの値としては、例えば、 $\lambda_s = 1560\text{nm}$ および $\lambda_p = 1385\text{nm}$ において、単一波長FBG-LDおよび2波長FBG-LDで、それぞれSNR=23dBおよびSNR=28.5dBとなっている。このSNRのスペクトル最低値の所期値は、伝送距離や伝送速度などのシステム条件に依存するが、典型値としては例えば25dBである。したがって、単一波長FBG-LDの場合には $\lambda_p = 1385\text{nm}$ でよい。また、2波長FBG-LD

の場合には、図19の波長を長波長側に5nmシフトすることができ、 $\lambda_s = 1560\text{nm}$ および $\lambda_p = 1385\text{nm}$ におけるSNRのスペクトル最低値は27dBとなる。したがって、2波長FBG-LDを用いた場合には、

$$2\lambda_0 - \lambda_s > \lambda_p + 10 \quad \dots (5)$$

であればよい。さらに、FBG-LD型励起光源の波長数は3以上でもよく、一般的に波長数が多いほど、励起光波長の分布幅が顕著に広くならない限りにおいて高いSNRが得られる。上記のことは、明らかに第四実施例の場合にも成り立つ。

[0096] また、本実施例は伝送路がNZ-DSFの場合であるが、第二実施例の場合と同様に、NZ-DSFに入力する信号光パワーのスペクトルを非平坦にする。伝送路DSF中での非線形効果を考慮して、ラマン利得が大きい短波長側ほど信号光パワーを低くする。

[0097] (第一～第六実施例まとめ) 本発明の実施例による光ファイバ通信システムは、第一～第六実施例で説明した線形中継器を備え、シリカファイバ10、11、20、21が伝送路DSFとして市中に敷設されることによって実現される。

[0098] (第七実施例)

第一実施例で述べたように、DSFおよびNZ-DSFを市中に敷設した伝送路ファイバといった分布的な増幅媒質ではなく、ボビンなどに巻いたシリカファイバといった集中的な増幅媒質に置き換えてもよい。この場合、前記光ファイバ通信システムは光増幅器とみなせ、この光増幅器は、線形中継器、送信器および受信器内などに設置して使用することができる。本実施例はこうした光増幅器に関するものである。

[0099] 本実施例による光増幅器の構成を図20に示す。なお、図1に示したものと同一構成要素については同一の符号を付してその説明を省略する。本光増幅器70は、集中光増幅の媒質としてDSFを有し、その長さは例えば10kmであり、このDSFはボビンに巻かれている。DSF用の後方向ラマン増幅、前方向ラマン増幅に用いる励起光源は、第一実施例と同じ波長を有するFBG励起光源22-1、13-1である。

[0100] 本実施例によれば、光増幅器70に入力した信号光を、RIN移行およびND-FWMによる信号品質劣化なく増幅することができる。

なお、本実施例では第一実施例に対応する構成について説明したが、第一実施

例以外の実施例についても同様である。

- [0101] 以上、本発明の実施例を図面を参照して説明してきたが、これら実施例は本発明の例示に過ぎず、本発明がこれら実施例に限定されるものでないことは明らかである。したがって、本発明の精神および範囲を逸脱しない範囲で構成要素の追加、省略、置換、その他の変更を行うようにしても良い。

産業上の利用可能性

- [0102] 本発明によれば、従来技術で問題であったRIN移行およびND-FWMによる信号光品質劣化が生じるという欠点が解決できるため、高い通信信号品質を低コストで実現することができる。

請求の範囲

- [1] 信号光を増幅するラマン増幅の利得媒質としてのシリカファイバと、
前記信号光と同一方向に前記シリカファイバ中を共伝播する励起光を送出する励起光源と、
前記シリカファイバと前記励起光源との間に設置された前記信号光と前記励起光との合波器と
を有する光ファイバ通信システムであって、
前記合波器には、前記シリカファイバのゼロ分散波長より長波長側の波長を有する信号光が入射され、この信号光と前記励起光源から出射された励起光とを合波する手段を備え、
前記励起光源は、前記励起光の最長波長が、前記信号光の最短波長より、周波数差にして13.7～30THz低周波数側であるところの短波長側にある励起光を出射する手段を備えた
ことを特徴とする光ファイバ通信システム。
- [2] 前記シリカファイバは、分散シフトファイバであり、前記信号光はL帯に複数波長を有する請求項1記載の光ファイバ通信システム。
- [3] 前記シリカファイバは、ノンゼロ分散シフトファイバであり、前記信号光はC帯に複数波長を有する請求項1記載の光ファイバ通信システム。
- [4] 前記シリカファイバの信号光出力段に、遠隔励起ダブルパス型EDFモジュールが設けられ、
前記励起光は、その波長が1430nm以上であり1470nm以下である
請求項1記載の光ファイバ通信システム。
- [5] 前記シリカファイバの信号光出力段に、遠隔励起シングルパス型EDFモジュールが設けられ、
前記励起光は、その波長が1440nm以上であり1470nm以下である
請求項1記載の光ファイバ通信システム。
- [6] 前記励起光源は、ファイバブラッググレーティング付きレーザダイオード型もしくはファイバレーザ型である請求項1ないし5のいずれかに記載の光ファイバ通信システム

。

- [7] 信号光波長の最小値を λ_s 、前記シリカファイバのゼロ分散波長の最小値を λ_0 、また、前記励起光源の励起光波長の最大値を λ_p としたとき、

$$2\lambda_0 - \lambda_s > \lambda_p$$

が成り立つように信号光波長、ゼロ分散波長、および励起光波長を設定した請求項2または3に記載の光ファイバ通信システム。

- [8] 前記励起光源が複数波長のファイバブラッググレーティング付きレーザダイオード型またはファブリーペローレーザダイオード型であり、

$$2\lambda_0 - \lambda_s > \lambda_p + 10$$

が成り立つように前記信号光波長、前記ゼロ分散波長、および前記励起光波長を設定した請求項7に記載の光ファイバ通信システム。

- [9] 前記励起光源が、ファイバラマンレーザ型、または、単一波長のファイバブラッググレーティング付きレーザダイオード型、または、複数波長のファイバブラッググレーティング付きレーザダイオード型、または、ファブリーペローレーザダイオード型であり、

$$2\lambda_0 - \lambda_s > \lambda_p + 15$$

が成り立つように前記信号光波長、前記ゼロ分散波長、および前記励起光波長を設定した

請求項7に記載の光ファイバ通信システム。

- [10] 前記複数波長の幅が10nm以下である請求項8または9に記載の光ファイバ通信システム。

- [11] 前記励起光源は、偏波多重するファブリーペローレーザダイオードの各々の出力側に、各ファブリーペローレーザダイオードからの励起光出力を調整する可変減衰器を備えた請求項8または9に記載の光ファイバ通信システム。

- [12] 前記光ファイバ通信システムはエルビウム添加ファイバ増幅器を有し、

前記エルビウム添加ファイバ増幅器は、

利得媒質としてのエルビウム添加ファイバを備えたエルビウム添加ファイバ利得ブロックと、

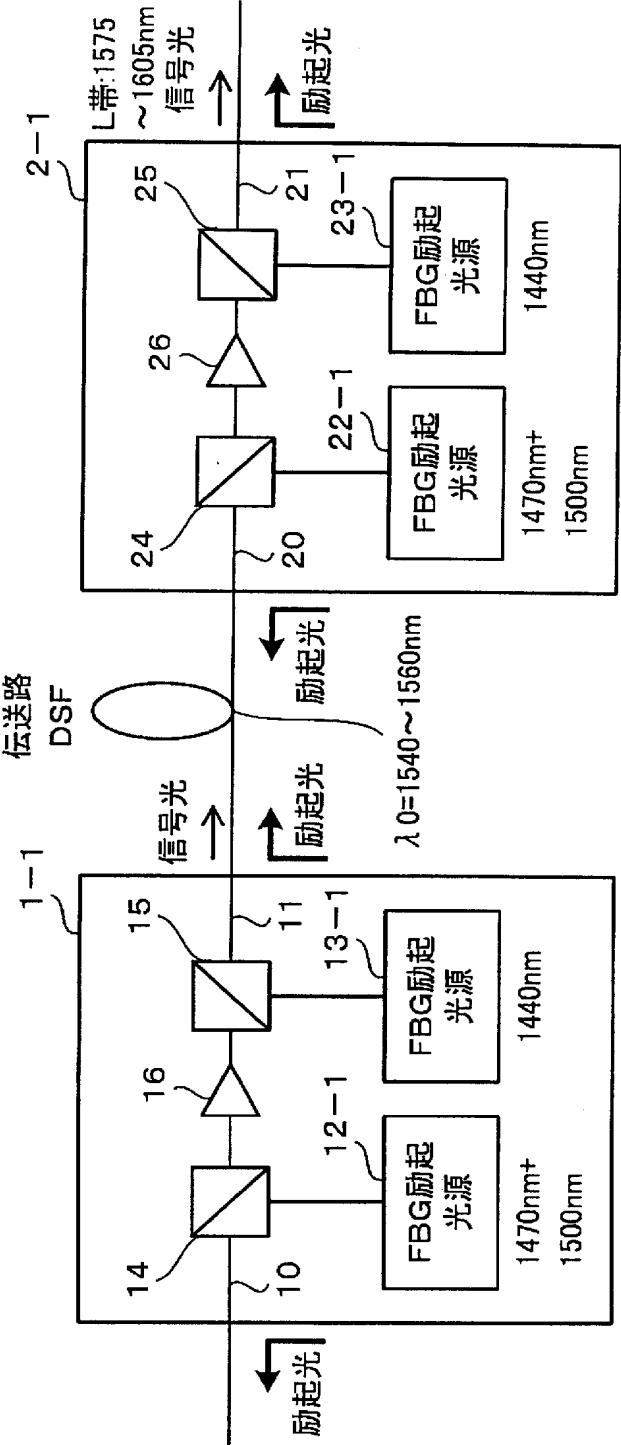
前記エルビウム添加ファイバ利得ブロックの前段または後段に設置された利得等化

光フィルタと、

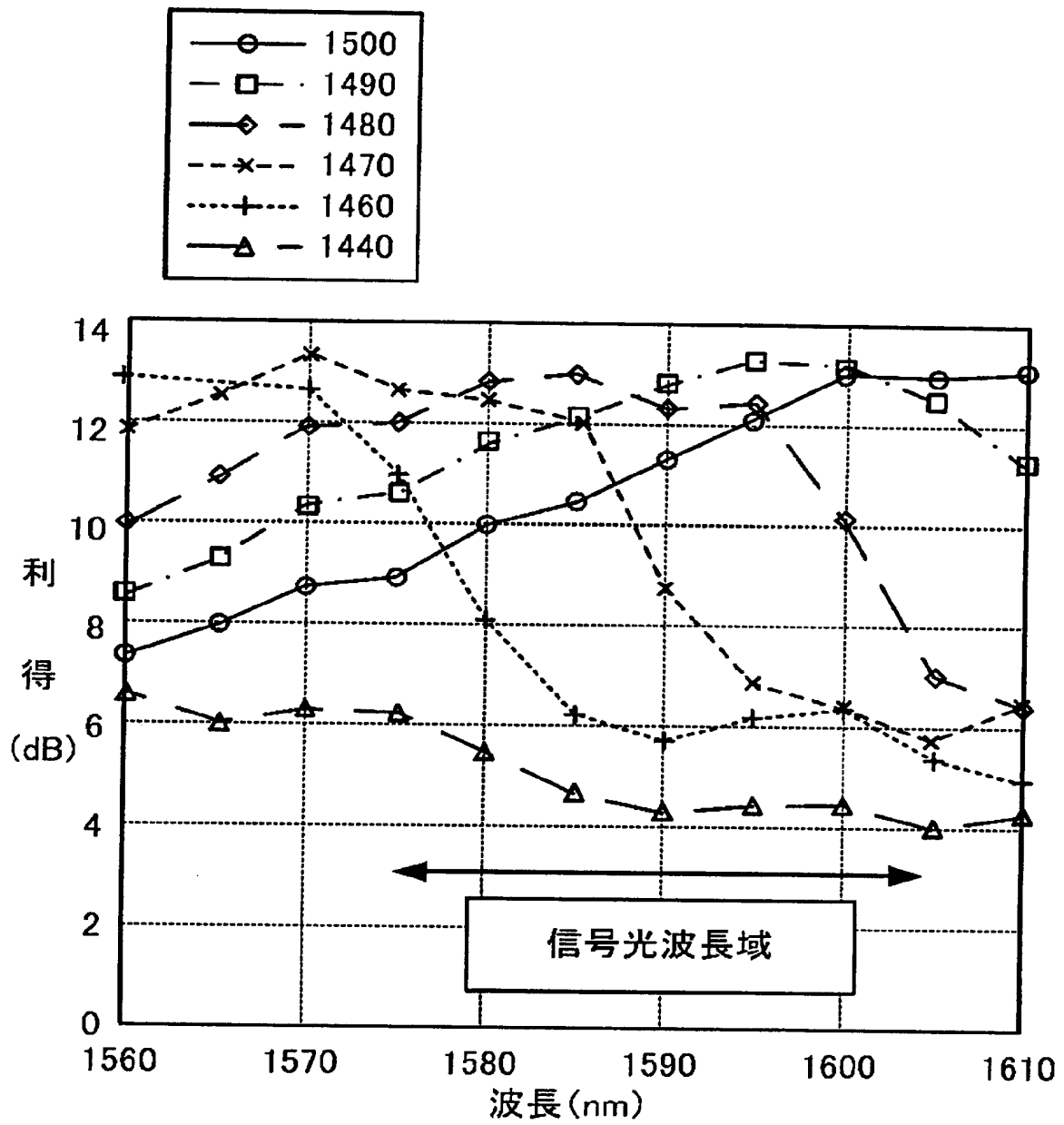
前記エルビウム添加ファイバの反転分布量を検出する反転分布検出回路と、
前記反転分布検出回路により検出される前記反転分布量が所期の値になるように
前記エルビウム添加ファイバ利得ブロックを制御する反転分布調整回路と
を有する請求項2または3記載の光ファイバ通信システム。

- [13] 前記エルビウム添加ファイバの上位準位占有比率 N_2 が38%未満である請求項12記載の光ファイバ通信システム。
- [14] 前記ラマン増幅によるラマン利得が大きい短波長側ほど、前記シリカファイバへ入力される前記信号光の信号光パワーが低くなるように、該信号光パワーのスペクトルを設定した請求項2または3に記載の光ファイバ通信システム。
- [15] 前記シリカファイバが市中に敷設されたシリカファイバである請求項1記載の光ファイバ通信システム。
- [16] 前記シリカファイバが集中光増幅用のシリカファイバである請求項1記載の光ファイバ通信システム。
- [17] 前記信号光の波長が単一波長であり、前記信号光の波長と前記励起光の最長波長との差が周波数差にして15.6THz以上である請求項1記載の光ファイバ通信システム。

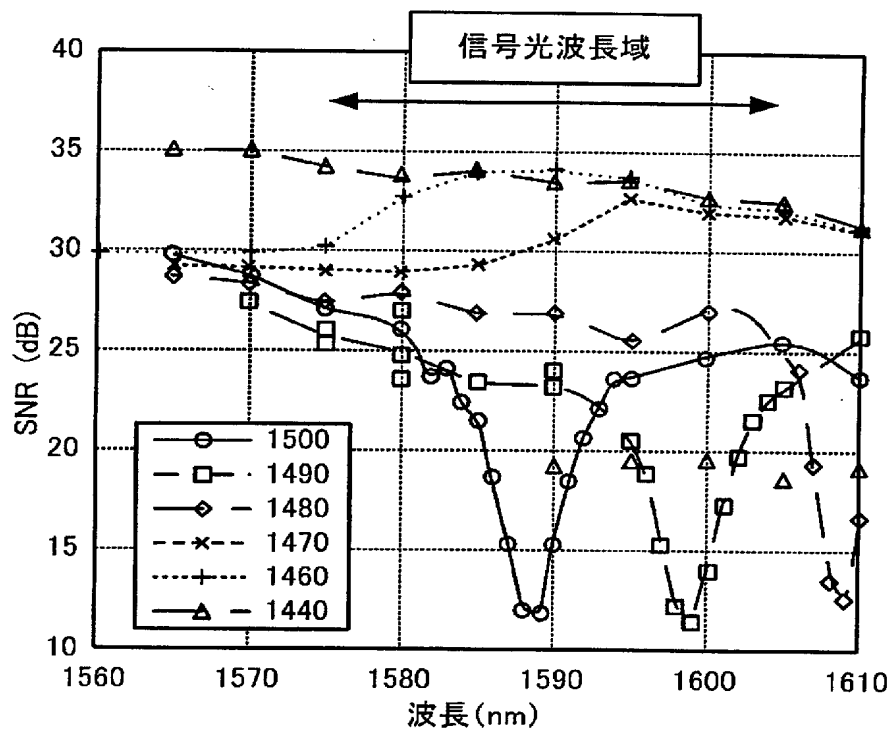
[図1]



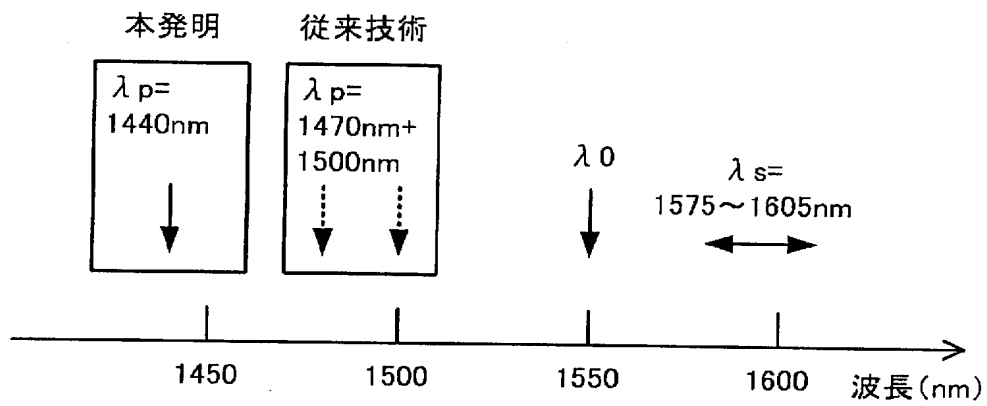
[図2]



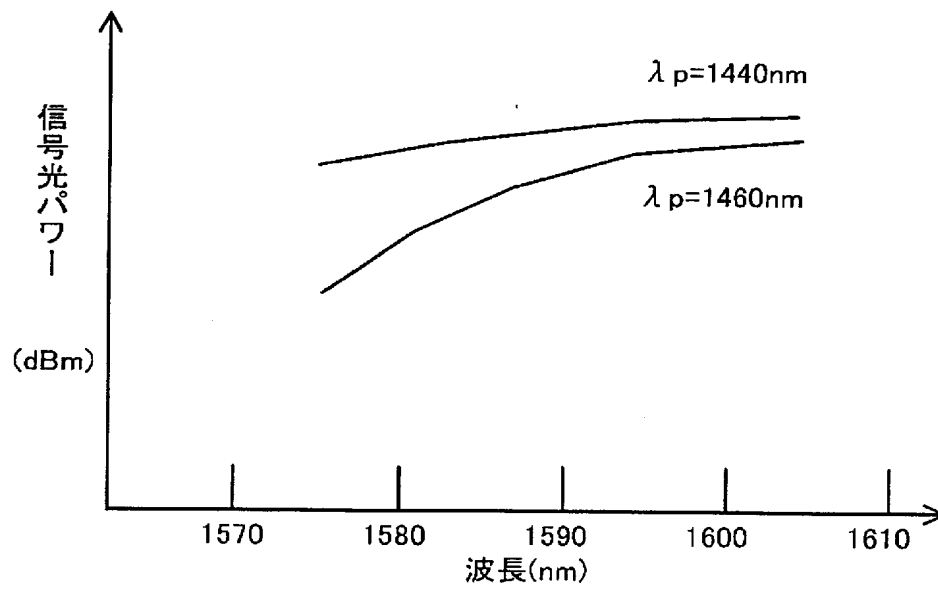
[図3]



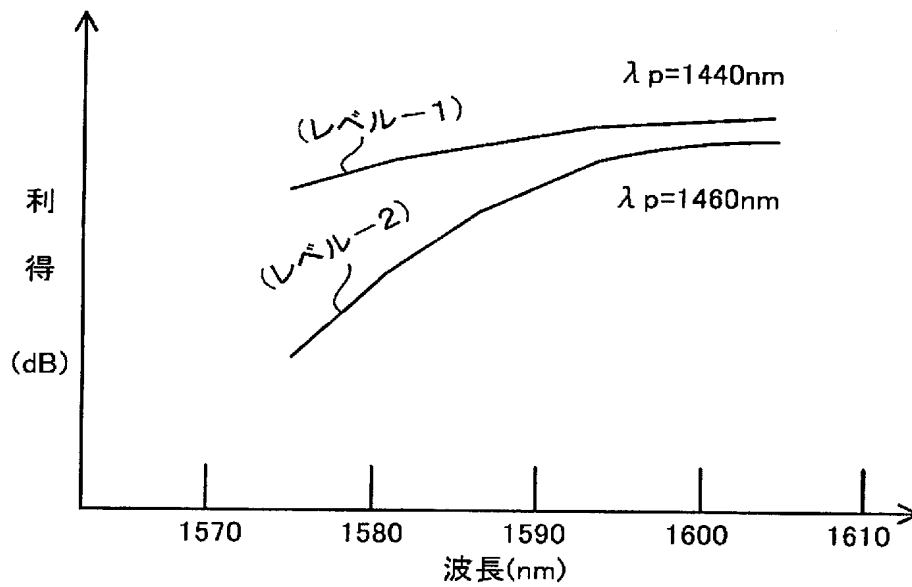
[図4]



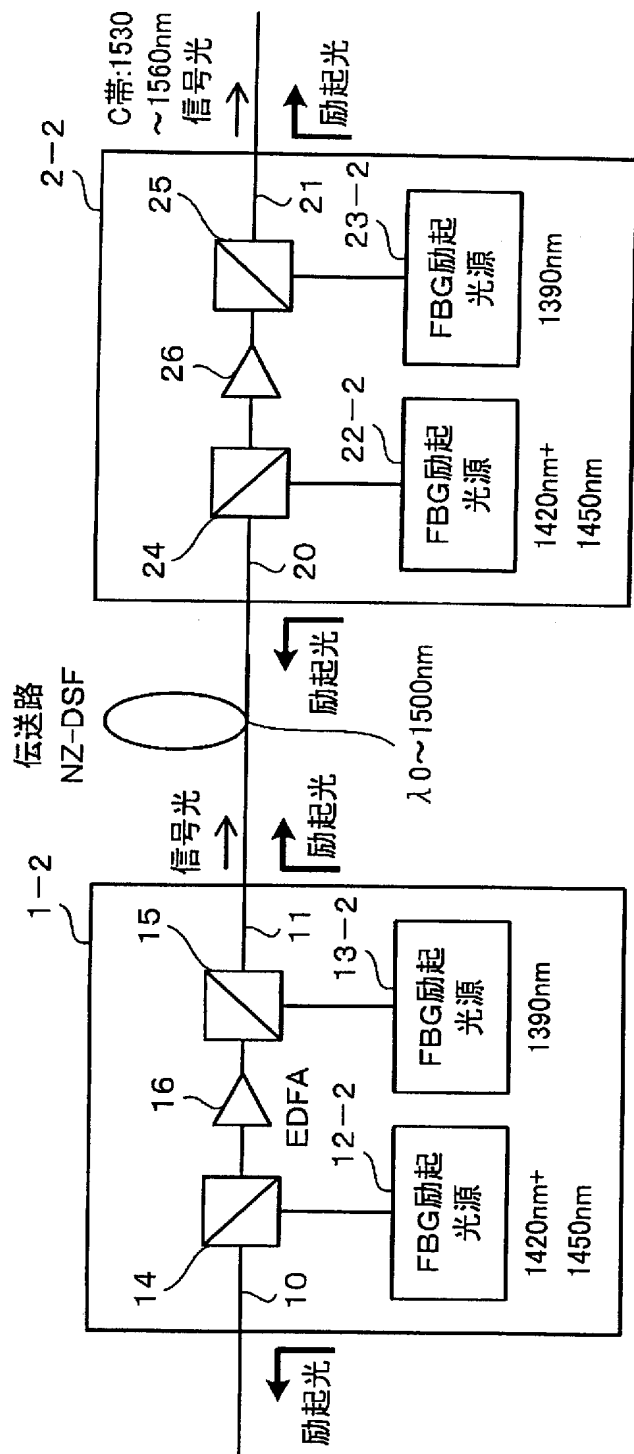
[図5]



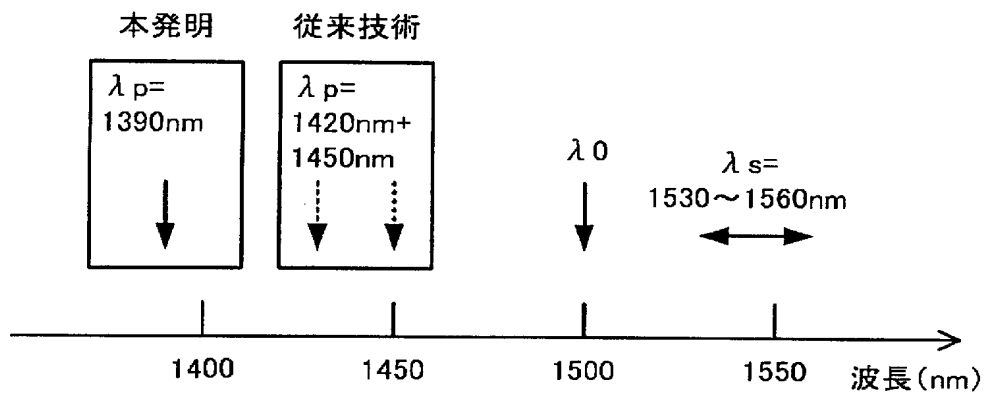
[図6]



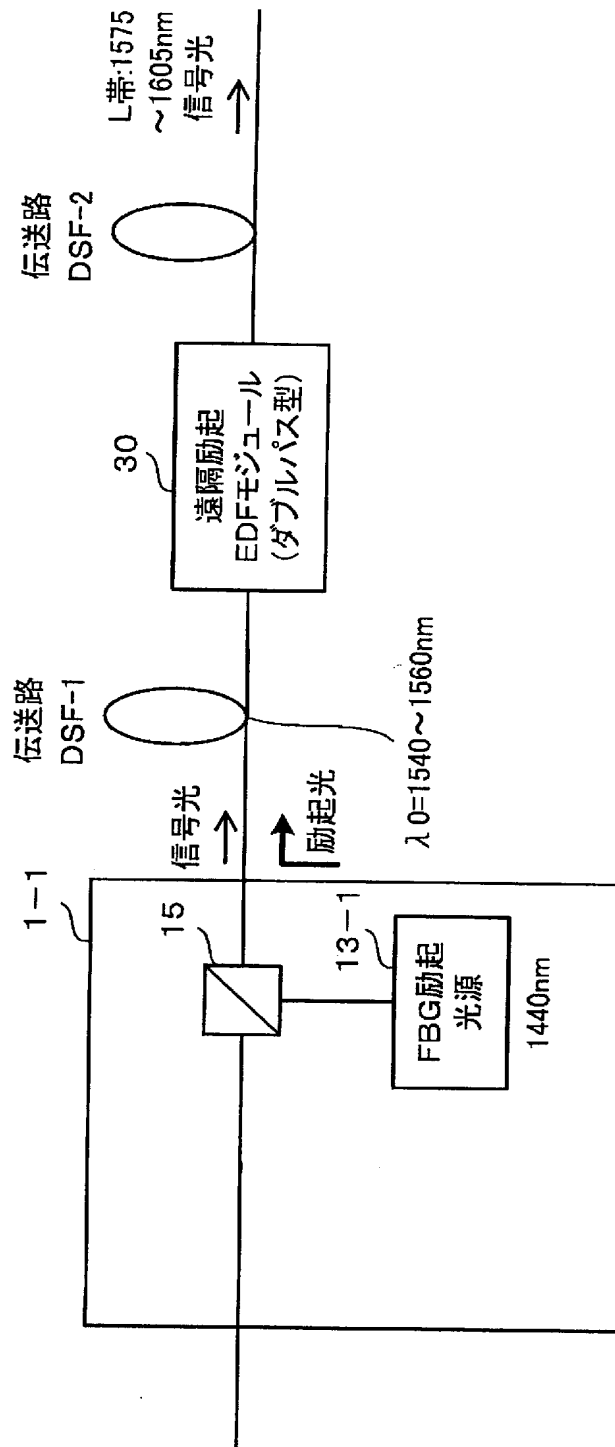
[図7]



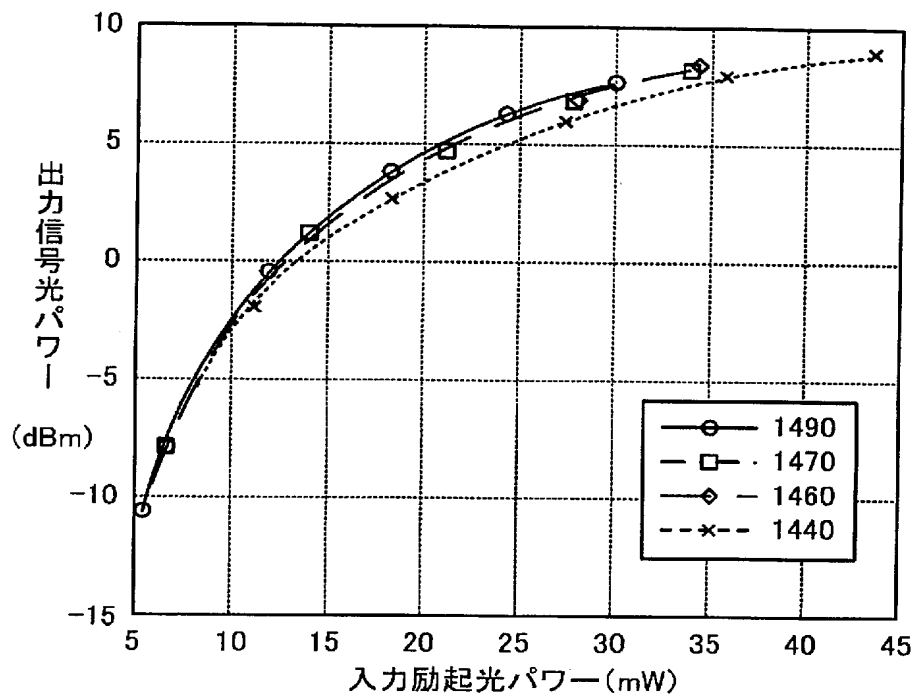
[図8]



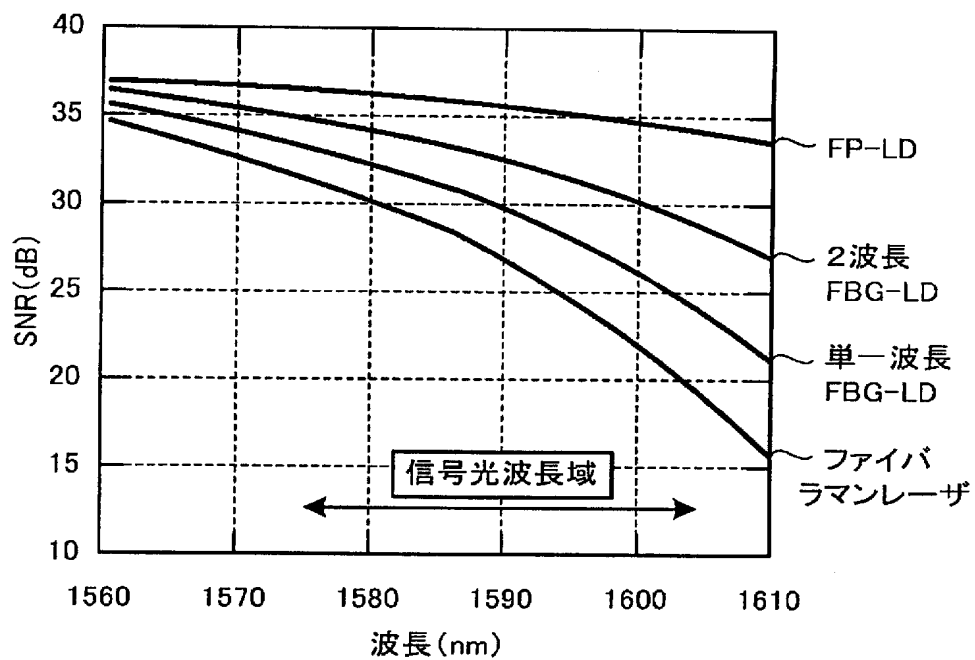
[図9]



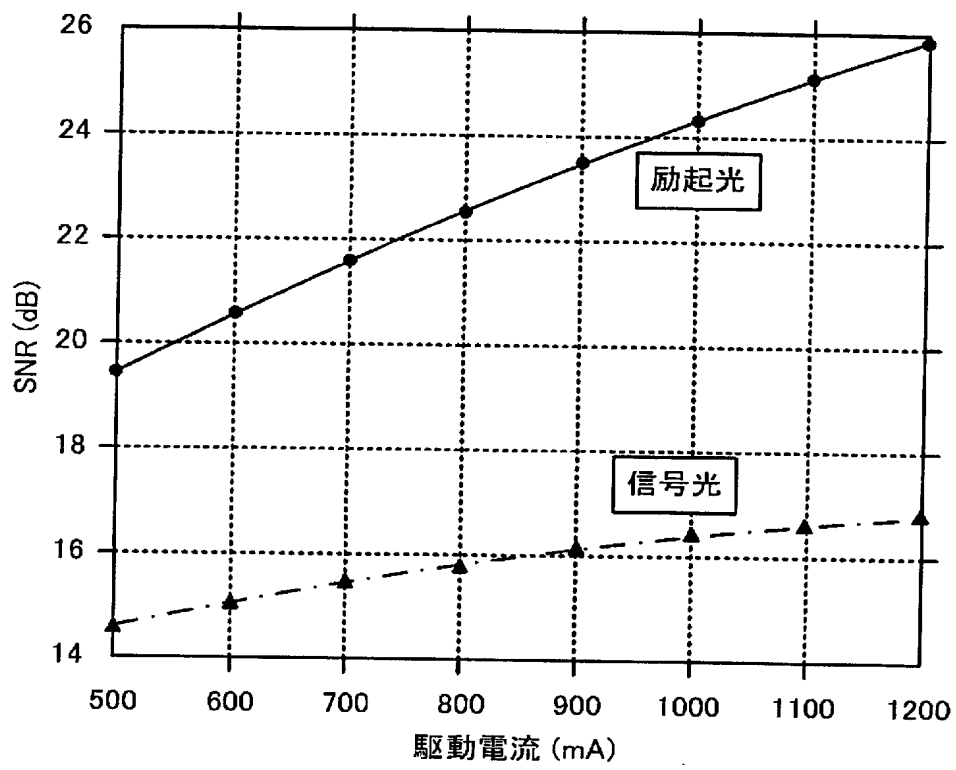
[図10]



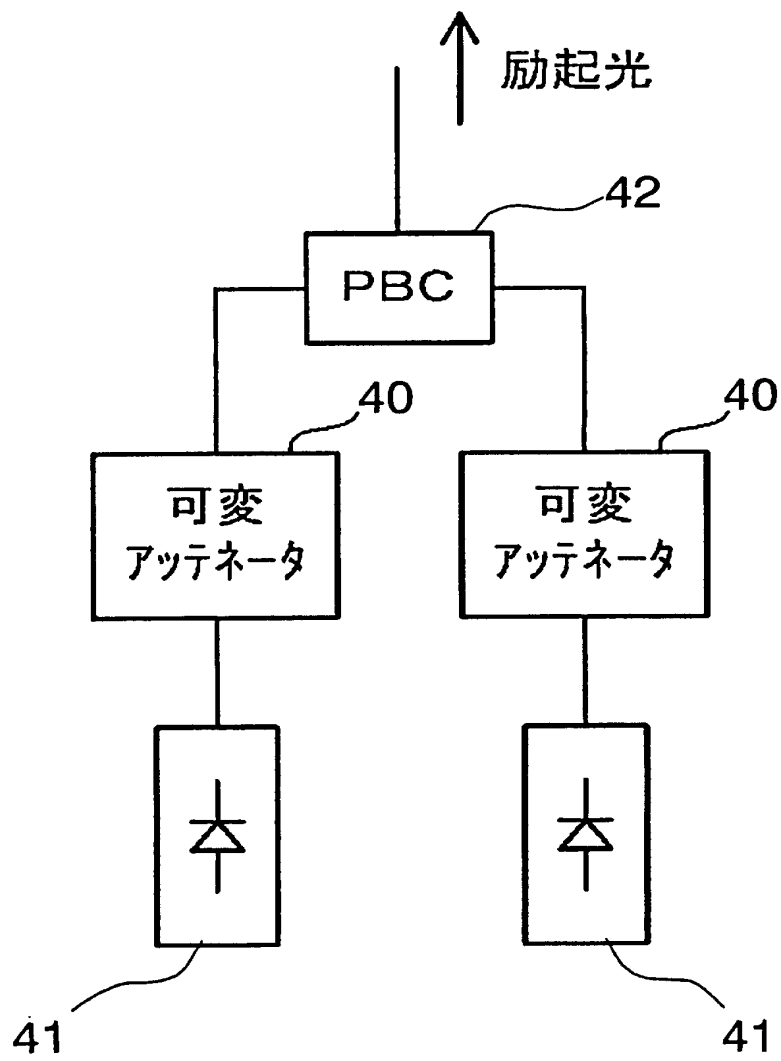
[図11]



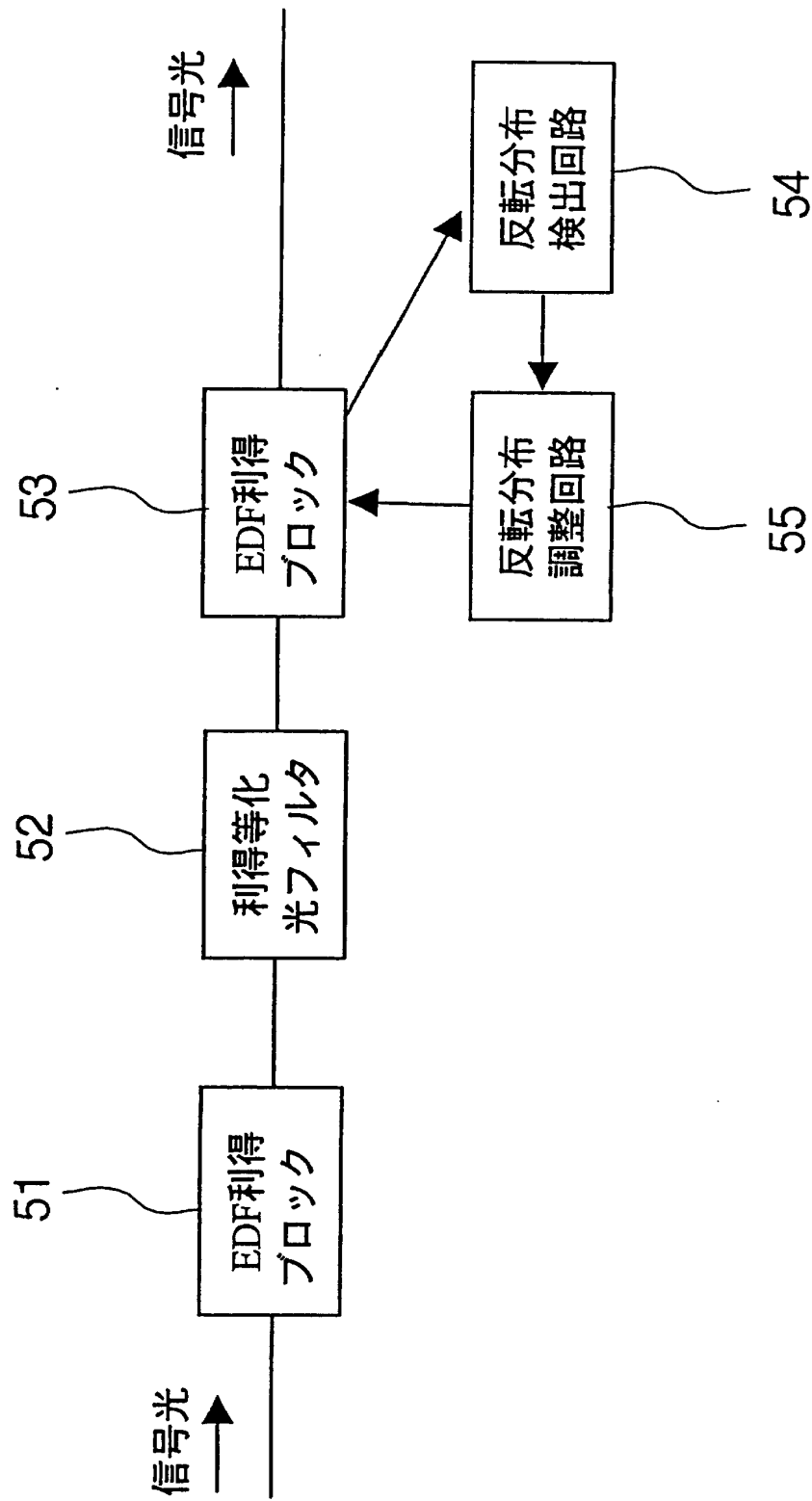
[図12]



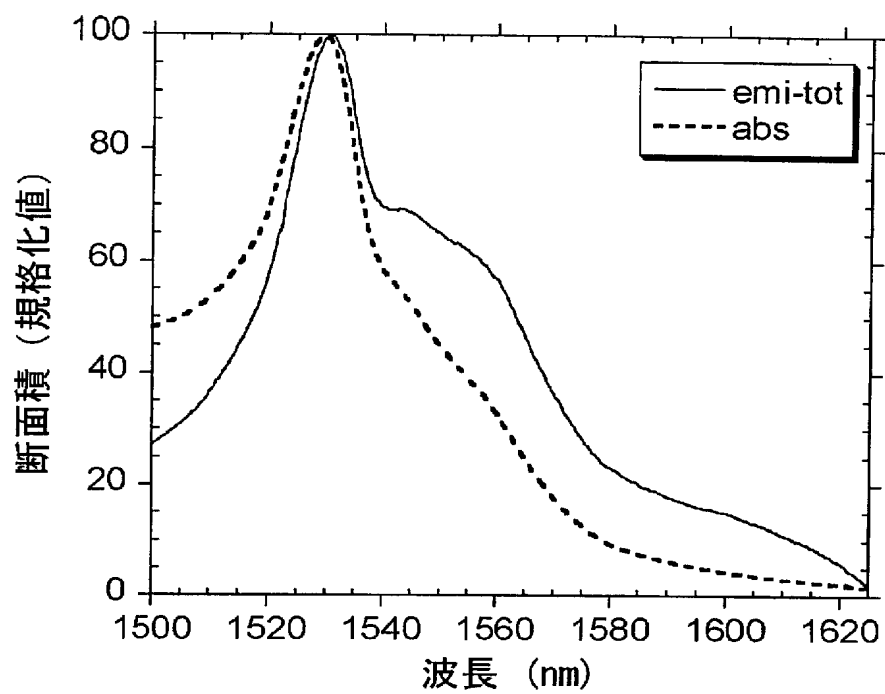
[図13]



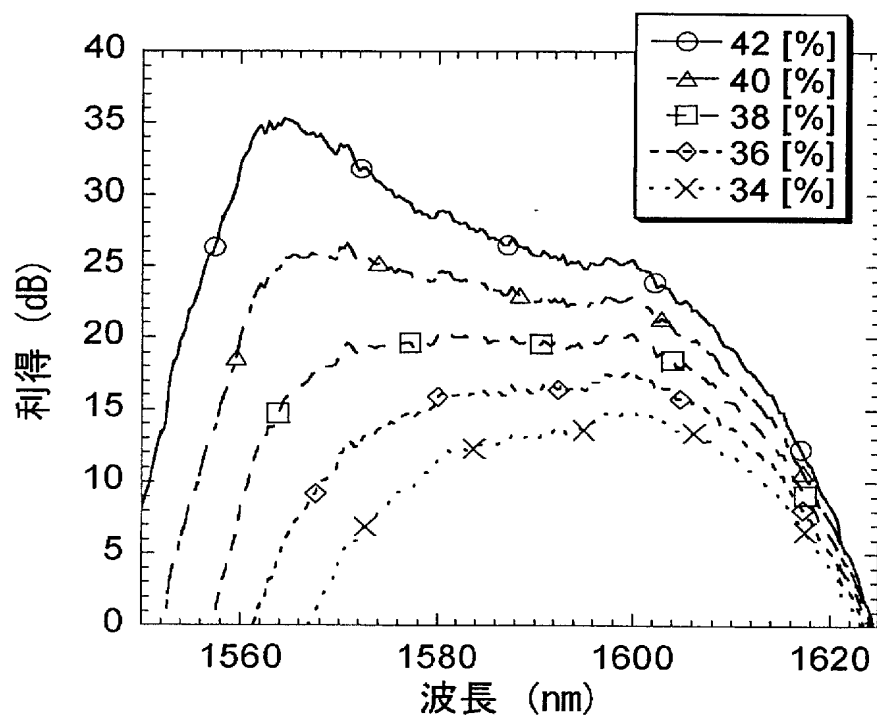
[図14]



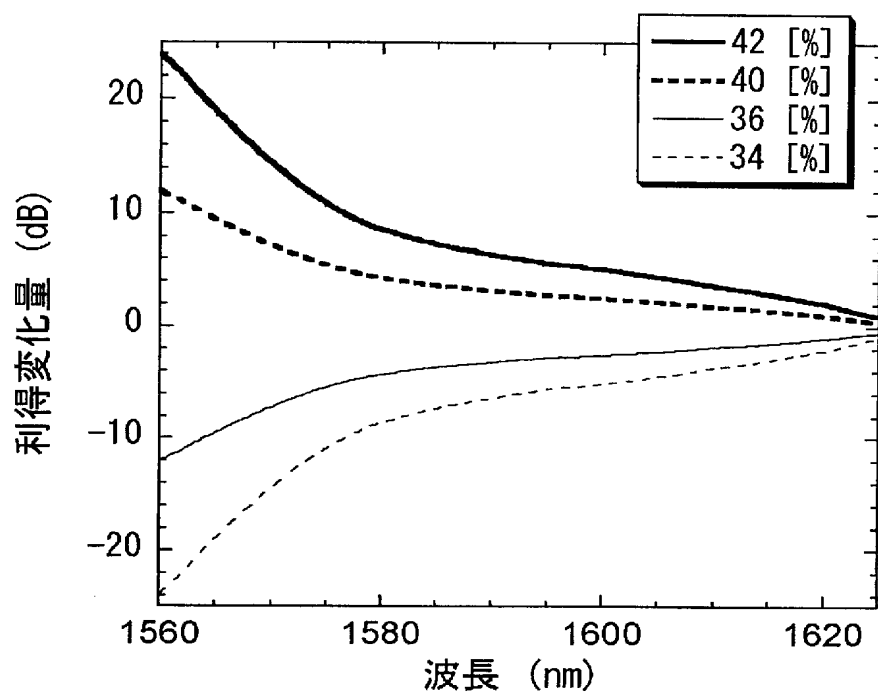
[図15]



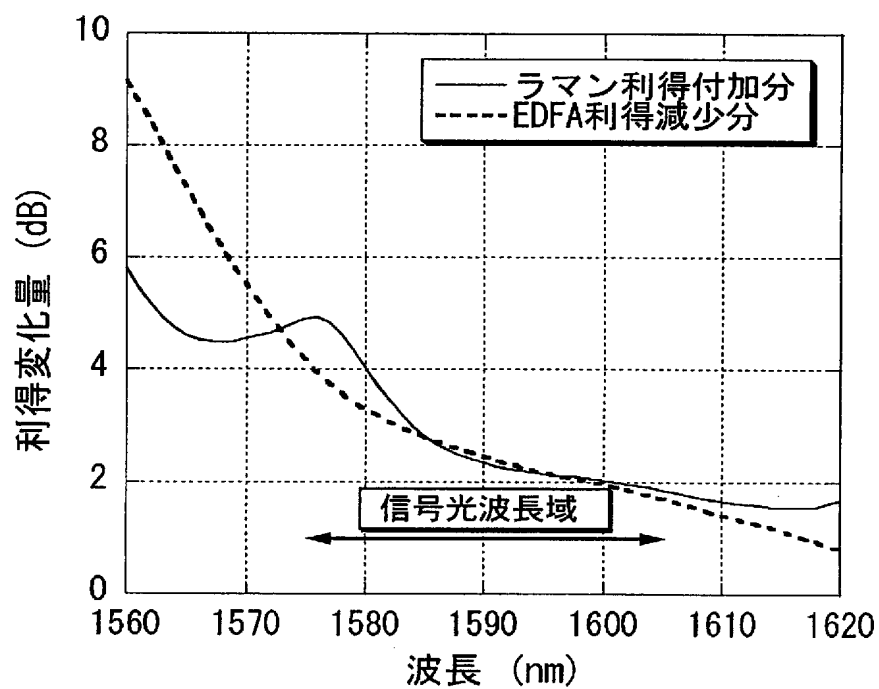
[図16]



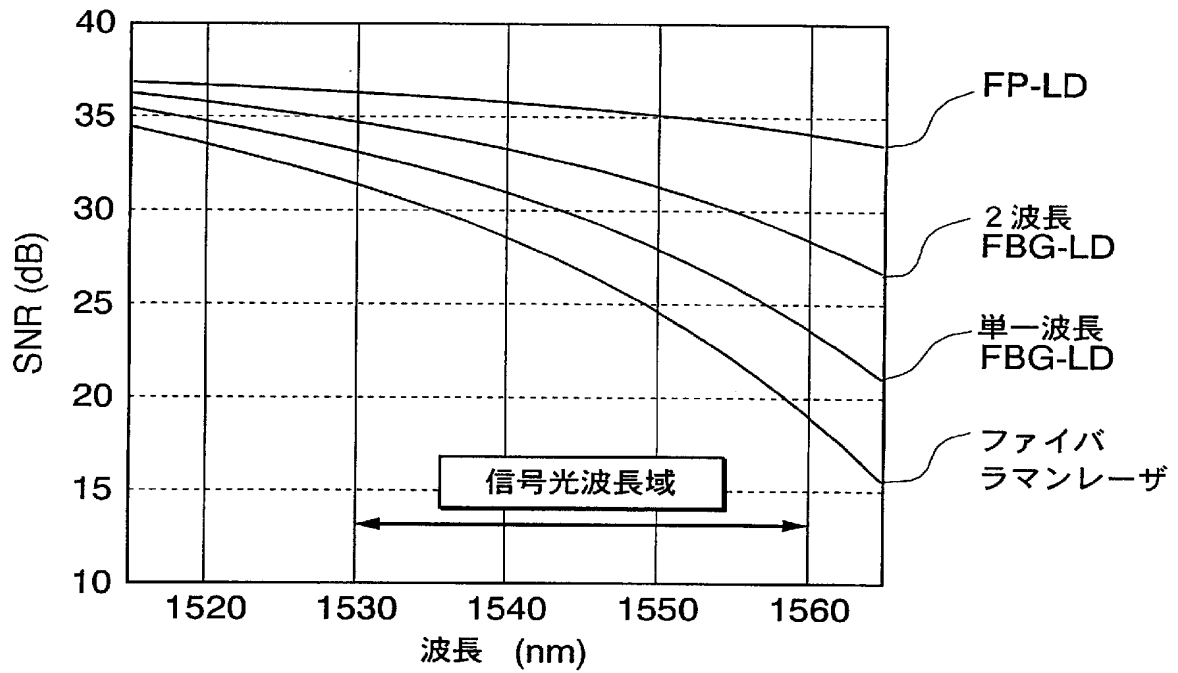
[図17]



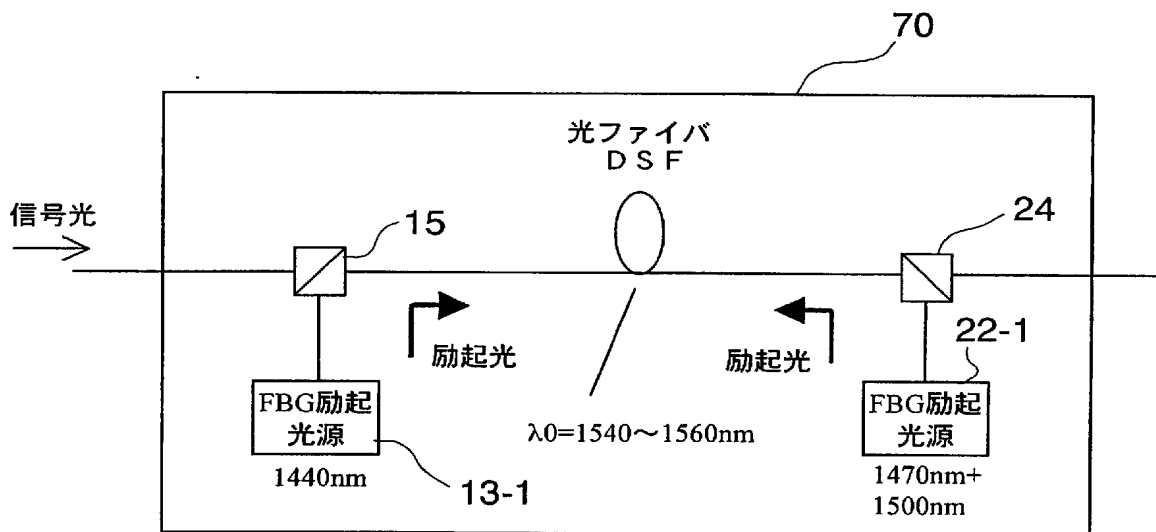
[図18]



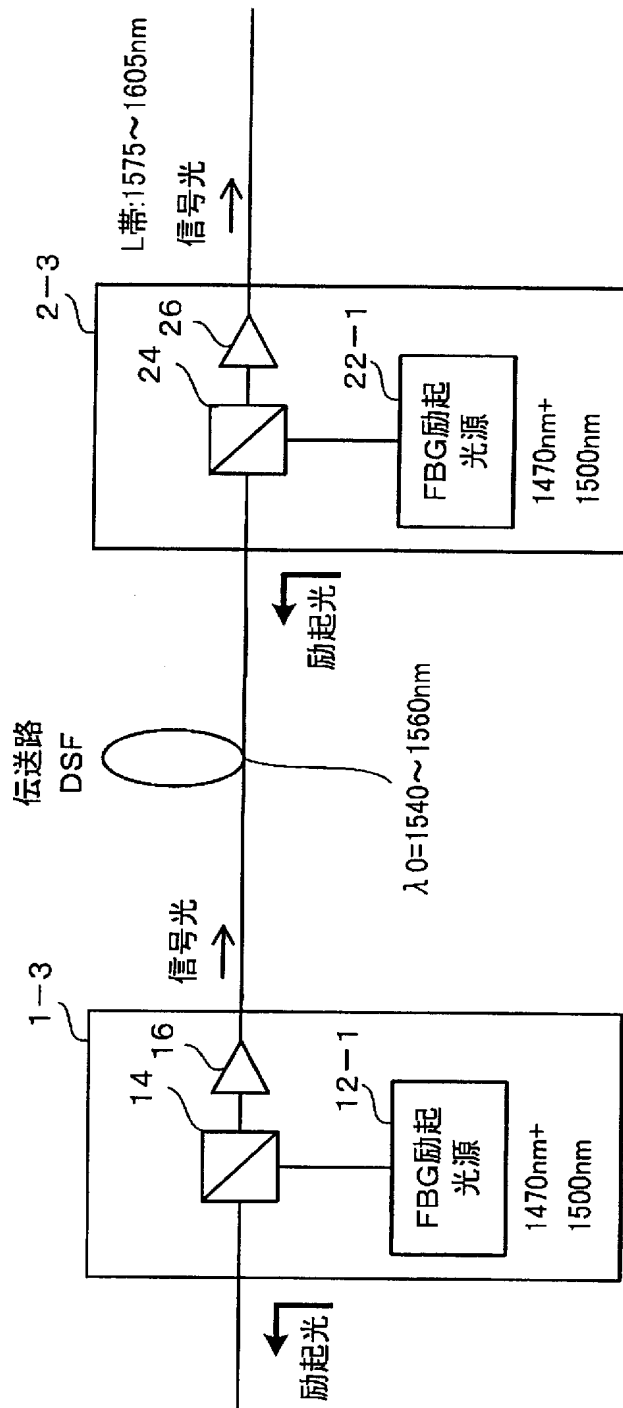
[図19]



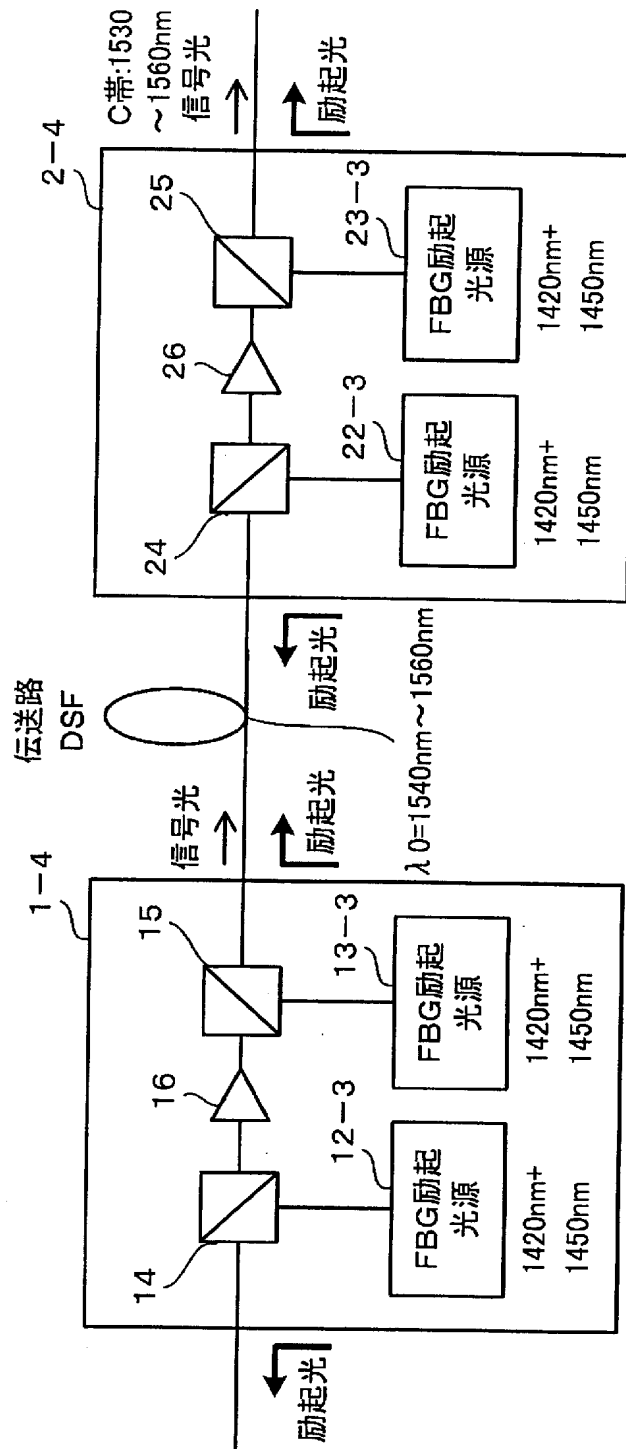
[図20]



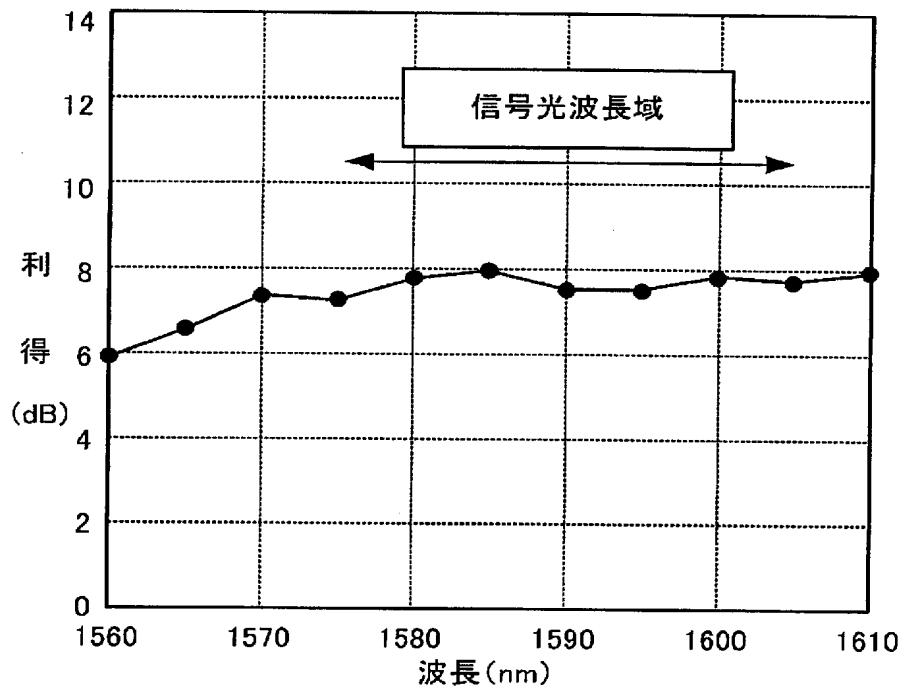
[図21]



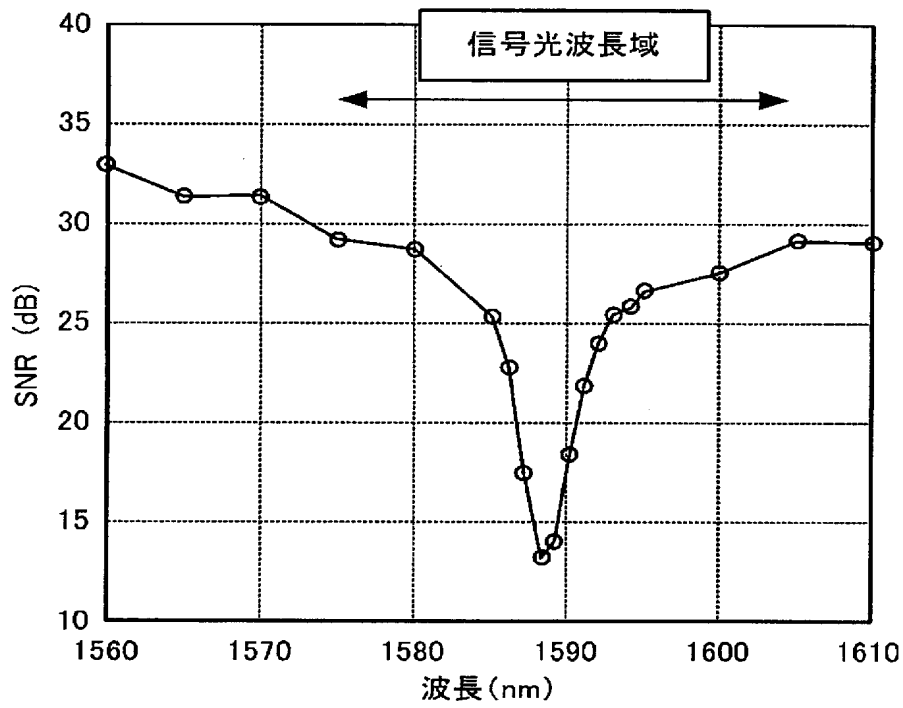
[図22]



[図23]



[図24]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/011135

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.⁷ G02F1/35, H01S3/30, H04B10/02, 10/16, 10/17, 10/18

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.⁷ G02F1/35, H01S3/30, H04B10/02, 10/16, 10/17, 10/18

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2001-27770 A (Alcatel), 30 October, 2001 (30.10.01), Claims; Par. Nos. [0011], [0015], [0027]; Figs. 1 to 4 & EP 1059747 A1 & FR 2796783 A & AU 3796300 A & CN 1279549 A & CA 2309789 A1	1, 15, 16 2-14 17
Y A	Koji MASUDA et al., "Enkaku Reiki EDF/DRA Hybrid-senkei Chukey Hoshiki o Mochiita L-tai 1.28Tbit/s(32×43Gbit/s), 528km(6×88km) DSF no Field Jikken", The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Gijutsu Kenkyu Hokoku, 16 April, 2004 (16.04.04), Vol.104, No.25, pages 27 to 32	2-14 17



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T"

later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&"

document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
13 September, 2005 (13.09.05)Date of mailing of the international search report
11 October, 2005 (11.10.05)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/011135

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2001-343673 A (Lucent Technologies Inc.), 14 December, 2001 (14.12.01), Full text; all drawings & US 2001/0036347 A1 & EP 1130825 A1 & CA 2335891 A1	7-11
Y	JP 2001-102666 A (Fujitsu Ltd.), 13 April, 2001 (13.04.01), Par. Nos. [0030] to [0032]; Fig. 3 & US 6882466 B & EP 1091509 A1	12, 13
A	JP 2003-57692 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 26 February, 2003 (26.02.03), Full text; all drawings & US 2002/018456 A1 & EP 1265381 A1	1-17
A	JP 2002-280652 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 27 September, 2002 (27.09.02), Par. Nos. [0010] to [0012] (Family: none)	1-17

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ G02F1/35, H01S3/30, H04B10/02, 10/16, 10/17, 10/18

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ G02F1/35, H01S3/30, H04B10/02, 10/16, 10/17, 10/18

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y A	J P 2001-27770 A (アルカテル) 2001. 10. 30, 特許請求の範囲, 段落【0011】、【0015】、【0027】、 図1-4 &EP 1059747 A1 &FR 2796783 A &AU 3796300 A &CN 1279549 A &CA 2309789 A1	1, 15, 16 2-14 17
Y A	増田浩二 他, '遠隔励起 EDF/DRA ハイブリッド線形中継方式を用い た L 帯 1.28Tbit/s (32×43Gbit/s)、528km (6×88km) DSF のフィール	2-14 17

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

13.09.2005

国際調査報告の発送日

11.10.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

河原 正

電話番号 03-3581-1101 内線 3294

2X

9017

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
	ド実験', 電子情報通信学会技術研究報告, 2004. 04. 16, Vol.104, No. 25, p. 27-32	
Y	JP 2001-343673 A (ルーセント テクノロジーズ インコーポレーテッド) 2001. 12. 14, 全文, 全図 &US 2001/0036347 A1 &EP 1130825 A1 &CA 2335891 A1	7-11
Y	JP 2001-102666 A (富士通株式会社) 2001. 04. 13, 段落【0030】-【0032】, 図3 &US 6882466 B &EP 1091509 A1	12, 13
A	JP 2003-57692 A (住友電気工業株式会社) 200 3. 02. 26, 全文, 全図 &US 2002/018456 A1 &EP 1265381 A1	1-17
A	JP 2002-280652 A (古河電気工業株式会社) 20 02. 09. 27, 段落【0010】-【0012】 (ファミリーなし)	1-17